

令和 5（2023）年度マガレイ北海道北部系群の資源評価

水産研究・教育機構

水産資源研究所 水産資源研究センター（千葉 悟・佐藤隆太・森田晶子・
境 磨・市野川桃子・濱津友紀）

参画機関：北海道立総合研究機構中央水産試験場、北海道立総合研究機構稚内水産試験場、
海洋生物環境研究所

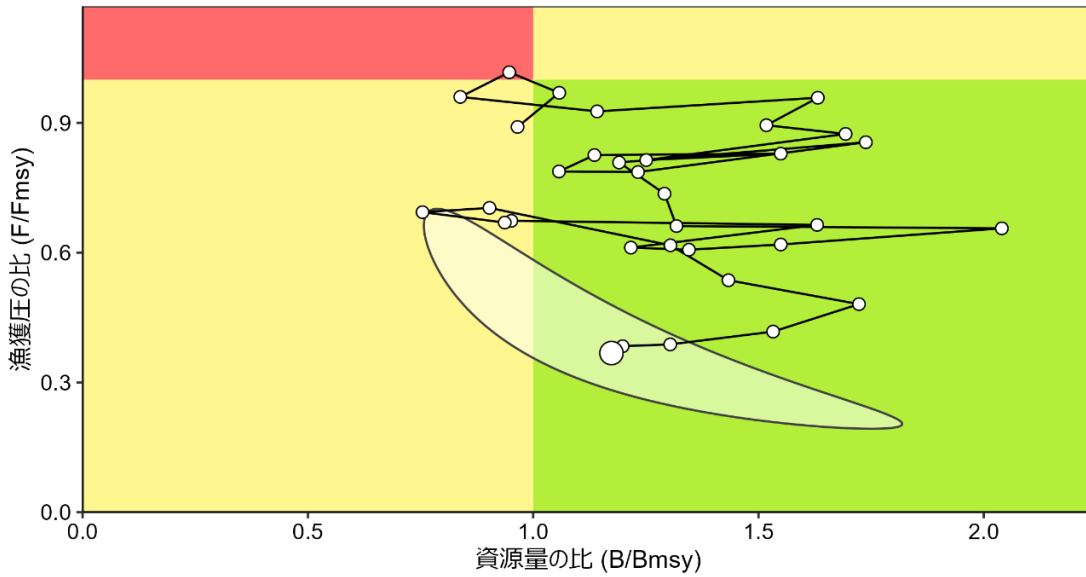
要 約

本系群の資源状態について、状態空間型の余剰生産モデル（プロダクションモデル）により評価した。モデルへの事前情報の与え方の異なる3つの基本モデルにより得られた推定結果を統合して資源状態を判断した。3つの基本モデルから推定された資源量や漁獲圧はほぼ同様の推移を示した。3つの基本モデルの推定結果を統合して算出された1990年漁期以降の資源量は、1993年漁期まではほぼ横ばいで推移し、その後1995年漁期に8.9千トン（90%信頼区間は5.6千～14.1千トン、以下同様）まで増加した。その後は増減を繰り返しながら横ばいで推移したが、2008年漁期から減少傾向となり、2014年漁期には4.1千トン（2.5千～6.6千トン）まで減少した。その後は2018年漁期まで増加した後に再び減少し2022年漁期は6.4千トン（3.9千～10.3千トン）と推定された。漁獲圧は1992年漁期まで上昇したが、その後は長期的に低下して2022年漁期の漁獲圧は0.18（0.11～0.30）と推定された。

2022年漁期の資源量は最大持続生産量MSYを実現する資源量（ B_{msy} ）を上回っている可能性が高い。また、2022年漁期の漁獲圧は、MSYを実現する水準の漁獲圧（ F_{msy} ）を下回る。資源量の動向は直近5年間（2018～2022年漁期）の推移から減少と判断される。

本資料では、管理基準値や漁獲管理規則など、資源管理方針に関する検討会（ステークホルダー会合）の議論をふまえて最終化される項目については、研究機関会議において提案された値を暫定的に示した。

要 約 図 表



MSY、資源量の水準と動向、および ABC	
MSY を実現する水準の資源量	5.4 千トン (90%信頼区間 3.5 千~8.2 千トン)
2022 年漁期の資源量の水準	MSY を実現する水準を上回る
2022 年漁期の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
2022 年漁期の資源量の動向	減少
最大持続生産量 (MSY)	2.7 千トン (90%信頼区間 2.1 千~3.4 千トン)
2024 年漁期の ABC	—
コメント:	
<ul style="list-style-type: none"> ・ ABC は、本資源の漁獲管理規則が「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て定められた後に算定される。 ・ ここで示されている数値は、3つの基本モデルによる推定結果から繰り返し計算数分だけパラメータセットを再生成して算出した値の中央値を代表値として、括弧内の数値は5パーセンタイル値と95パーセンタイル値を90%信頼区間として示している。以降、3つのモデルの結果を要約する際は、上記の算出方法を用いた。 	

直近5年と将来2年の資源量、漁獲量、漁獲圧(F)、および F/Fmsy				
漁期年	資源量(千トン) (90%信頼区間)	漁獲量 (トン)	漁獲圧(F) (90%信頼区間)	F/Fmsy (90%信頼区間)
2018	9.3 (5.8~14.9)	2,246	0.24 (0.15~0.38)	0.48 (0.30~0.78)
2019	8.3 (5.2~13.3)	1,727	0.21 (0.13~0.33)	0.42 (0.26~0.67)
2020	7.1 (4.4~11.4)	1,365	0.19 (0.12~0.31)	0.39 (0.24~0.63)
2021	6.5 (4.0~10.5)	1,243	0.19 (0.12~0.31)	0.38 (0.23~0.63)
2022	6.4 (3.9~10.3)	1,167	0.18 (0.11~0.30)	0.37 (0.22~0.60)
2023	8.2 (4.7~14.0)	1,500	0.18 (0.11~0.30)	0.36 (0.22~0.57)
2024	8.7 (4.8~15.1)	—	—	—
<ul style="list-style-type: none"> ・ 2023年漁期、2024年漁期の値は将来予測に基づく値である。 ・ 各年の資源量は漁獲対象となる資源の量を示す。 ・ 漁期年は7月~翌年6月である。 ・ 漁獲量は観察値、資源量、漁獲圧および F/Fmsy は推定値。 				

1. データセット

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり。

データセット	基礎情報、関係調査等
漁獲量*	主要港漁業種別水揚量(北海道) 北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書(水産庁)
漁獲努力量	北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書(水産庁)
資源量指標値*	沖底標準化 CPUE・道総研 VPA 資源評価結果

*は余剰生産モデルによる資源量推定に用いたデータである。

2. 生態

(1) 分布・回遊

マガレイは、樺太・千島以南の日本各地の沿岸から朝鮮半島、中国の沿岸にかけて広く分布している（水産庁研究部 1986）。マガレイ北海道北部系群の分布を図 2-1 に示す。本系群には、日本海北部で産卵されたものが、そこで着底し一生を過ごす群（日本海育ち群）と、オホーツク海へ運ばれて着底し、そこで未成魚期を過ごした後、成熟の進行に伴い日本海北部へ産卵回遊する群（オホーツク海育ち群）が存在する（加賀・菅間 1965、菅間 1967、下田ほか 2006）。

(2) 年齢・成長

各年齢（7月1日を誕生日とした満年齢）における雌雄別・育ち群別の全長と体重を図 2-2 に示す（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2023）。日本海育ち群はオホーツク海育ち群に比べて成長が遅い。寿命は、雄が5歳程度、雌が10歳以上と考えられている（星野 2003）。

(3) 成熟・産卵

雌では2歳から、雄では1歳から成熟する個体が見られる（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2023）。産卵期は4～6月で、産卵場は石狩湾と苫前沖～利尻・礼文島周辺海域（産卵水深は40～60m）である。

(4) 被捕食関係

仔魚はカイアシ類を、未成魚および成魚はゴカイ類、二枚貝類、ヨコエビ類、クモヒトデ類を捕食している（渡野邊 2003）。捕食者は海獣類である（Goto et al. 2017）。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本系群は主に刺網漁業などの沿岸漁業によって漁獲されるほか、沖合底びき網漁業（以下、「沖底」という）によっても漁獲される。漁獲量は日本海が約6割を占めていたが、

2021年漁期以降は日本海で漁獲量が減少し、反対にオホーツクでは増加したため漁獲量の割合が逆転した（表3-1）。刺し網の主漁期は日本海で10月～翌年6月、オホーツク海で5～12月である。また、日本海では主に成魚が漁獲されるのに対し、オホーツク海では主に未成年魚が漁獲されている。

(2) 漁獲量の推移

本系群の漁獲量を図3-1および表3-1に示す。沖底では1980～1981年漁期には2,000トンに迫る漁獲量を記録していたが、その後1987年漁期にかけて大きく減少した。その後は増減しながらほぼ横ばいで推移している。2022年の漁獲量は、前年より僅かに増えて240トンであった。沿岸漁業の漁獲量は、1988年漁期以降増加傾向を示し、1995年漁期には3,440トンに達したが、その後は増減しながら長期的には減少傾向にある。2022年の漁獲量は過去最低の928トンであった。沖底と沿岸漁業を合わせた漁獲量は1988年漁期以降増加し、1995年漁期には4,229トンに達したが、その後は増減しながら減少傾向にある。2022年漁期の漁獲量は1985年漁期以降で最低の1,167トンであった。

沿岸漁業の漁獲量や沖底と沿岸漁業を合わせた漁獲量は、豊度の高い年級群が発生した後に増加している。近年では2013年級群の豊度が比較的高いと考えられており、再生産成功率も2008～2012年級群と比較して2013年級群以降で増加した（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2023）と考えられている。

(3) 漁獲努力量

本系群の漁獲努力量として、沖底のかけまわしの全操業網数およびマガレイが漁獲された有漁網数を月別集計データ（試験操業除く）に基づき示した（図3-2、表3-2）。全操業網数は、1980年代には8万網を超える年もあったが1990年代にかけて大きく減少し、2000年代は2.7万網前後を横ばいで推移した。その後は再び減少で推移し、2022年漁期は約10,444網となった。有漁網数は1980年代中頃まで2万網を超えて推移していたが、1986年漁期に約1.3万網まで減少した後は増減しながらも長期的には減少で推移し、2022年漁期は2,604網であった。沿岸漁業の漁獲努力量については把握できていないが、日本海の春の刺し網漁の操業において、1990年代後半から海獣類による被害を避けるため操業の開始時期を遅らせる、魚価安のため小型魚を避けたり操業を早く切り上げたりあるいは見合わせる、ニシン狙いの操業が増加するなどの操業形態の変化が認められており（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2023）、マガレイに対する刺し網の努力量は減少していると考えられる。刺し網漁業の漁業権行使数の推移を図3-3に示した。漁業権行使数は各地域ともに長期的な減少傾向が見られており、実際の着業者数は漁業権行使数をさらに下回ると考えられる。

(4) 漁獲物の年齢組成

北海道立総合研究機構（以下、道総研）による年齢別漁獲尾数推定の結果（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2023）を図3-4に示す。1990年代後半に漁獲の主体が2歳魚から3、4歳魚に移行している。特に2019～2020年漁期において5歳以上の高齢魚が漁獲の約半数を占めるに至っている。この主な要因として、単価の安い小型魚の水

揚げを避けたことや、若齢魚が漁獲の主体であった日本海北部やオホーツクにおいて努力量・漁獲量ともに減少していること、関係漁業者間で取り組まれている資源管理協定に基づいた未成魚保護を目的とする漁獲制限などが考えられる。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

資源評価には、Pella-Tomlinson 型の状態空間余剰生産モデルである SPiCT (連続時間における確率的な状態空間余剰生産モデル: Pedersen and Berg 2017) を用いた (補足資料 1、2)。余剰生産モデルには漁期年 (7 月～翌年 6 月) で集計した 1990～2022 年漁期の漁獲量と、2000～2022 年漁期の沖底 CPUE および道総研が VPA によって推定した 1989～2014 年漁期の資源重量 (中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2023) から求めた残存資源量を使用した。資源量指標値に使用した沖底 CPUE は標準化したものを使用した (補足資料 3)。標準化 CPUE の詳細は「令和 5 (2023) 年度マガレイ北海道北部系群の沖合底びき網漁業 (かけまわし漁法) の CPUE 標準化について (FRA-SA2023-SC16-201)」 (千葉ほか 2023) に示した。

資源状態の判断には、余剰生産モデルへの事前情報の与え方を変えた 3 つの基本モデルの結果を用いた。3 つのモデルの結果を統合するにあたり、モデルごとに推定パラメータの精度を示す精度行列の逆行列の分散共分散行列を分散成分とした多変量正規分布から繰り返し計算分のパラメータセットをランダムに生成し、その中央値を代表値とした。また、5 パーセントイル値および 95 パーセントイル値から 90%信頼区間を算出した。資源評価で示す資源量や漁獲圧、MSY に関わる基準値の計算での繰り返し計算数 (パラメータセット数) は各モデルで 10,000 回ずつの合計 30,000 回とした。使用した余剰生産モデルおよびパラメータ推定結果の詳細は補足資料 2 に示した。

(2) 資源量指標値の推移

余剰生産モデルに用いた資源量指標値を図 4-1 および表 4-1 に示した。沖底標準化 CPUE は、2007 年漁期にかけて増加した後に 2014 年漁期まで減少し、2015～2019 年漁期に再び増加し 2020 年漁期から減少に転じた。2022 年漁期は前年から僅かに増加して 33.2 kg/網であった。道総研が VPA で推定した資源量から換算した残存資源量 D は、1994～1996 年漁期に大きく増加した後、2000 年漁期に減少に転じた。2007 年漁期に再び増加したが、2012～2014 年漁期に再び減少した。

(3) 現在の環境下において MSY を実現する水準

余剰生産モデルのパラメータの推定値を、3 つの基本モデルごとに補足資料 2 (補足表 2-1) に示す。推定された内的自然増加率 r は Model 0 で 1.38 (90%信頼区間は 0.48～3.96、以下同様)、Model 1 で 1.07 (0.38～2.95)、Model 2 で 0.87 (0.44～1.71) であった。環境収容力 K は Model 0 で 10.7 千トン (7.4 千～15.5 千トン)、Model 1 で 11.3 千トン (7.8 千～16.3 千トン)、Model 2 で 12.1 千トン (8.5 千～17.1 千トン) であった。余剰生産曲線の形を定める形状パラメータ n は Model 0 で 2.77 (0.97～7.88)、Model 1 で 2.06 (0.73～5.78)、Model 2 で 1.71 (0.90～3.25) であった。

現在の環境下において最大持続生産量 MSY を実現する資源量 B_{msy} は、余剰生産量が最大になる際の資源量に相当し、Model 0 では 5.7 千トン (3.7 千～8.8 千トン)、Model 1 では 5.4 千トン (3.5 千～8.5 千トン)、Model 2 では 5.4 千トン (3.6 千～8.1 千トン) と推定された (図 4-2)。これらの基本モデルの推定結果から算出される代表値および 90%信頼区間は、5.4 千トン (3.5 千～8.2 千トン) であった (表 4-2)。なお、 B_{msy} を実現する漁獲圧 (F_{msy}) は、Model 0 で 0.48 (0.30～0.76)、Model 1 で 0.50 (0.32～0.80)、Model 2 で 0.50 (0.33～0.77) と推定され (補足表 2-1)、その代表値は 0.50 (0.31～0.80) と算出された。

(4) 資源量と漁獲圧の推移

余剰生産モデルでの 3 つの基本モデルの結果を統合した代表値では、1990 年漁期以降の資源量は 1993 年漁期まで横ばいで推移した後 1995 年漁期まで増加し、その後は増減しながら横ばいで推移した。2008 年漁期以降減少傾向で推移し 2014 年漁期には 4.1 千トン (2.5 千～6.6 千トン) まで減少したが、その後は増加して 2018 年漁期には 9.3 千トン (5.8 千～14.9 千トン) に達した。その後は再び減少して直近年 (2022 年漁期) は 6.4 千トン (3.9 千～10.3 千トン) となった (図 4-3、表 4-3)。漁獲圧は 1992 年漁期まで上昇するものの、その後は長期的に低下して推移し直近年 (2022 年漁期) は 0.18 (0.11～0.30) であった (図 4-4、表 4-3)。資源評価のモデルごとの結果によると、直近年の資源量は Model 0 で 6.3 千トン (3.9 千～10.2 千トン)、Model 1 で 6.3 千トン (3.9 千～10.2 千トン)、Model 2 で 6.4 千トン (4.0 千～10.3 千トン) となった (補足資料 2)。1995 年漁期以降に資源量が比較的多い状態で推移したのは、1993 年漁期以降の漁獲圧の低下によるものと考えられ、この背景には 1994 年 3 月から取り組まれている資源管理協定による小型魚の漁獲規制等があると推察される。その一方で、1993 年漁期以降の漁獲圧は長期的に低下傾向であるのに対し 1995 年漁期以降の資源量は増減しながらも横ばい傾向で推移し、2016 年漁期以降も漁獲圧は低下傾向が続いているにもかかわらず資源量は 2018 年漁期をピークに再び減少に転じている。このことから、本系群の短期的な資源量の増減には環境等の要因が強く影響していると考えられる。道総研が実施している VPA (中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2023) からも数年おきに発生する高豊度な年級群に依存して資源が大きく増大する様子が捉えられており、現在の低い漁獲圧下では資源量は環境要因や高豊度な年級群の発生に大きな影響を受けていると考えられる。前年度評価 (FRA-SA2022-SC08-02) における 2021 年漁期の資源量は、Model 0 で 6.8 千トン (4.2 千～11.0 千トン)、Model 1 で 6.9 千トン (4.2 千～11.1 千トン)、Model 2 で 7.0 千トン (4.3 千～11.3 千トン)、漁獲圧は Model 0～3 全てで 0.18 (0.11～0.29) であった。今年度評価における 2021 年漁期の資源量は、Model 0 で 6.4 千トン (4.0 千～10.3 千トン)、Model 1 で 6.5 千トン (4.0～10.3 千トン)、Model 2 で 6.6 千トン (4.1 千～10.5 千トン)、漁獲圧は Model 0 で 0.19 (0.12～0.31)、Model 1 で 0.19 (0.12～0.31)、Model 2 で 0.19 (0.12～0.30) であったことから、データが 1 年分追加されたことによって、資源量は 0.4 千トンの減少、漁獲圧は 0.01 の上昇と変化は僅かであった。

(5) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

最大持続生産量を実現する資源量 B_{msy} と、その時の漁獲圧 F_{msy} を基準にした神戸

ロットを図 4-5 に示す。3 つの基本モデルを統合した結果によると、現状の資源量（2022 年漁期の資源量）は代表値が B_{msy} を上回るが 90%信頼区間の一部は B_{msy} を下回った。現状の漁獲圧（2022 年漁期の漁獲圧）は 90%信頼区間を含めて F_{msy} を下回ると判断される。直近 5 年間（2018～2022 年漁期）の資源量は減少傾向である。

現状の資源量に対する B_{msy} の比は 1.17 (0.86～1.67) であり、現状の漁獲圧に対する F_{msy} の比は 0.37 (0.22～0.60) である (表 4-4)。3 つの基本モデルごとの結果に基づく神戸プロットは補足資料 2 に示した。

5. 資源評価のまとめ

余剰生産モデルによる資源量推定結果から、マガレイの資源量は 1990 年代中盤から増加し比較的多い状態で推移したが、2010 年代前半に減少した。その後は再び増加したが、2019 年漁期以降は減少傾向にある。長期的にはほとんどの漁期年で資源量は MSY 水準を上回って推移し、漁獲圧は MSY 水準を下回って推移している。最新年（2022 年漁期）の資源量は B_{msy} を上回っている可能性は高いが、90%信頼区間の一部は B_{msy} を下回っている。

6. その他

本系群には漁業関係者間で取り組まれている資源管理協定に基づき、未成魚保護を目的として全長 18 cm（体長 15 cm）未満に対する漁獲制限が設けられている。近年の漁獲物は幅広い年齢層で構成されているのが特徴となっており、若齢魚の漁獲圧が低い状況であると考えられる。また、近年は漁獲圧が低くなっているにも関わらず、それに対応した資源量の増加は顕著でないことから留意が必要である。

7. 引用文献

- 千葉 悟・佐藤隆太・森田昌子・境 磨・濱津友紀 (2023) 令和 5 (2023) 年度マガレイ北海道北部系群の沖合底びき網漁業 (かけまわし漁法) の CPUE 標準化について. (FRA-SA-2023-SC16-201)
- 中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 (2023) マガレイ石狩湾以北日本海～オホーツク海海域. 2023 年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部, 156-168.
- Goto, Y., A. Wada, N. Hoshino, T. Takashima, M. Mitsuhashi, K. Hattori, and O. Yamamura (2017) Diets of Steller sea lions off the coast of Hokkaido, Japan: An inter decadal and geographic comparison. *Marine Ecology*, **38**, e12477.
- 星野 昇 (2003) 道北日本海沿岸におけるマガレイ産卵群の資源構造. 北水試だより, **60**, 15-19.
- 加賀吉栄・菅間慧一 (1965) 石狩湾におけるマガレイの生活とその資源. 北水試月報, **22**, 50-57.
- Pedersen, M. W., and Berg, C. W. (2017). A stochastic surplus production model in continuous time. *Fish and Fisheries*, **18**, 226-243. <https://doi.org/10.1111/faf.12174>

- 下田和孝・板谷和彦・室岡瑞恵 (2006) 北海道北部産マガレイ耳石輪紋径に基づく「育ち群」判別, 第1報 漁獲物の1~3歳における「育ち群」. 北水試研報, **71**, 55-62.
- 菅間慧一 (1967) 北部日本海のマガレイの生活について. 北水試月報, **24**, 57-78.
- 水産庁研究部 (1986) 底びき網漁業資源. ブループリント, 234 pp.
- 渡野邊雅道 (2003) マガレイ. 「新北のさかなたち」水島敏博・鳥澤雅監修, 北海道新聞社, 北海道, 272-277.

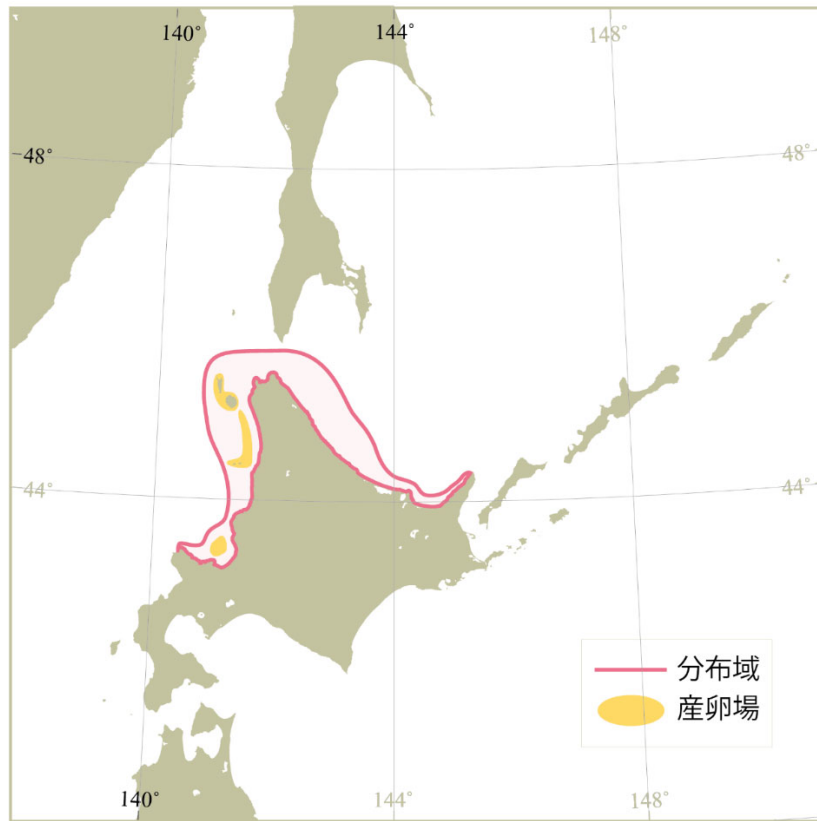


図 2-1. マガレイ北海道北部系群の分布

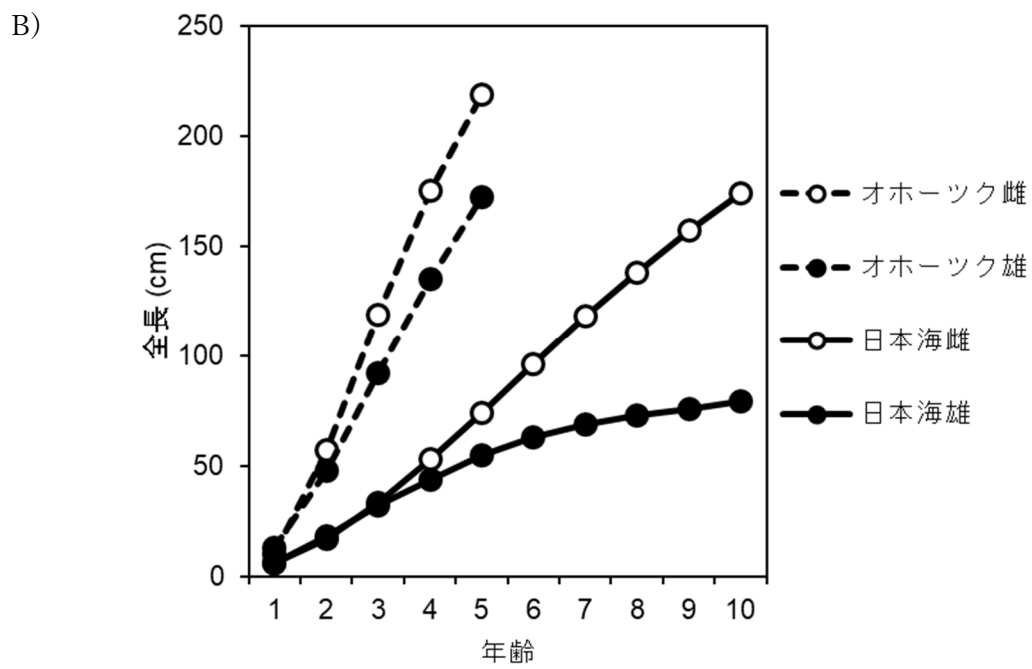
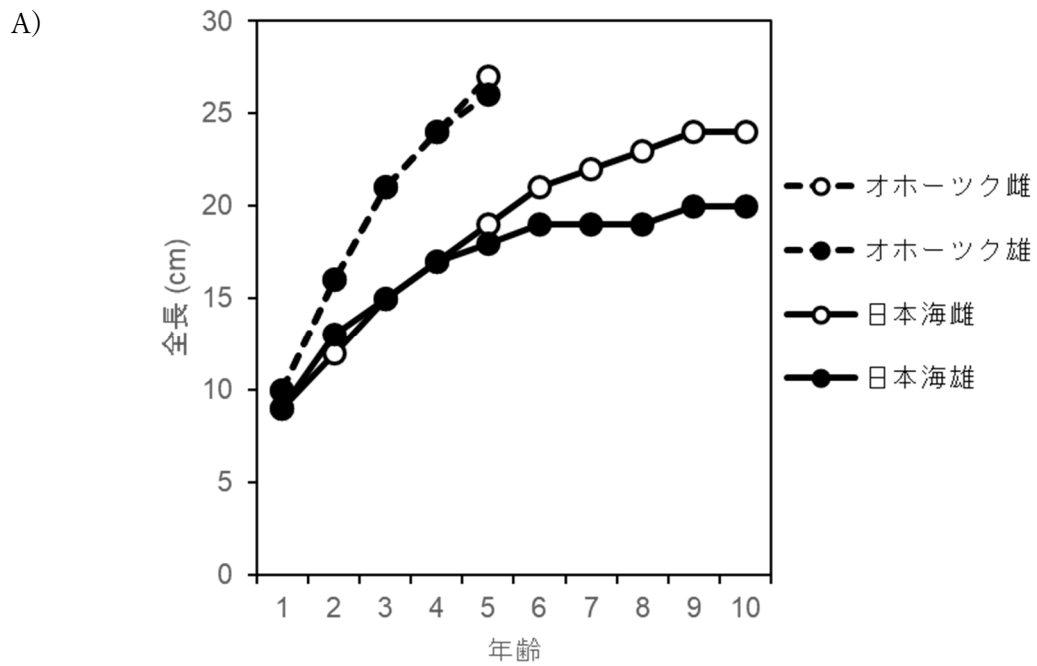


図 2-2. 年齢と成長の関係図 (数値は中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 (2023) より引用)

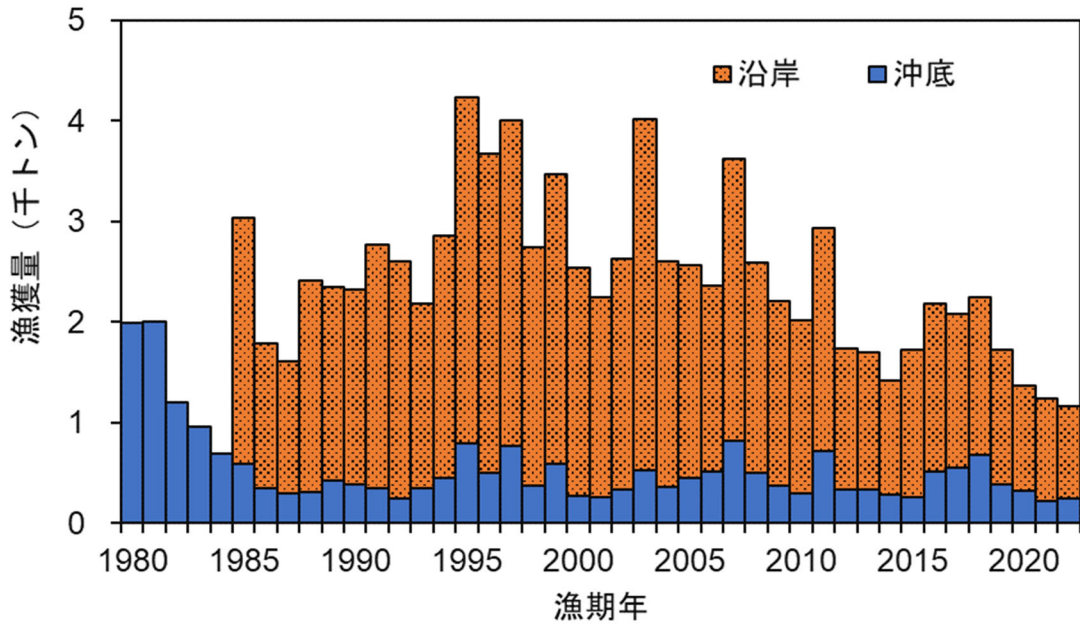


図 3-1. 漁獲量の推移（1984 年漁期以前の沿岸漁業漁獲量は未集計）
 漁期年は 7 月～翌年 6 月。

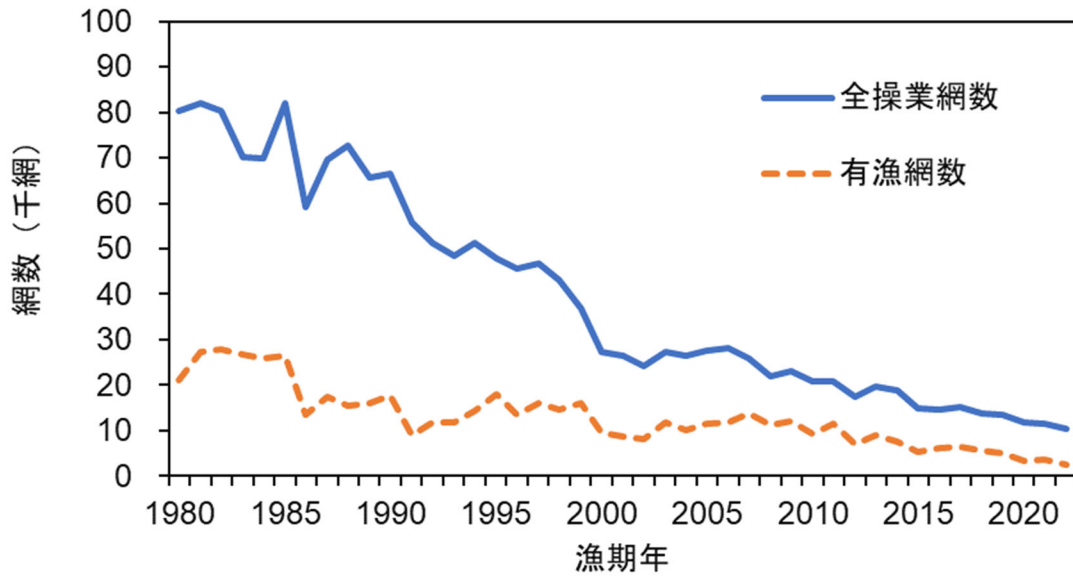


図 3-2. 沖底かけまわし漁獲努力量の推移

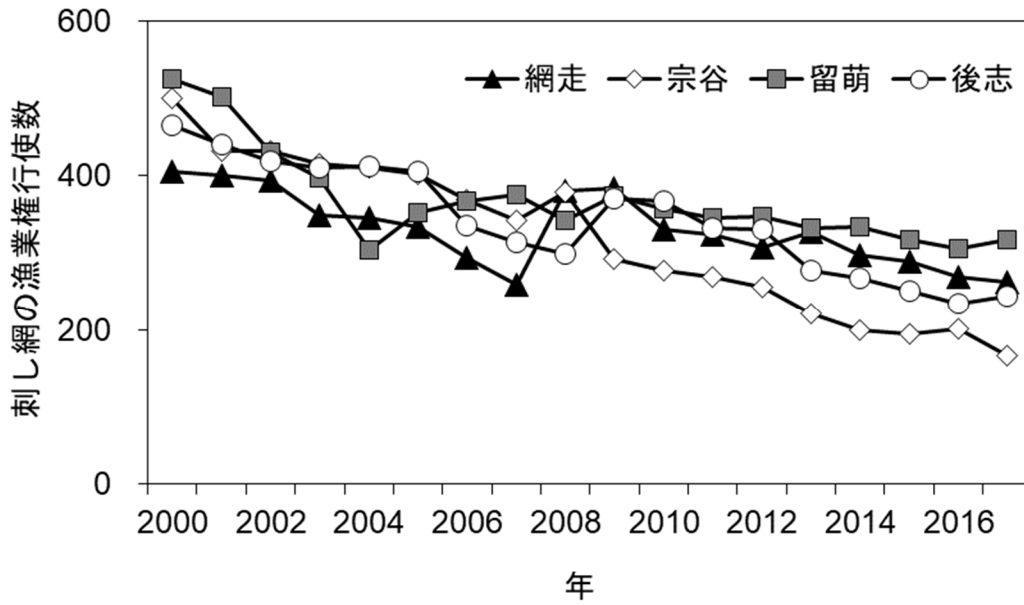


図 3-3. 刺し網漁業の漁業権行使数

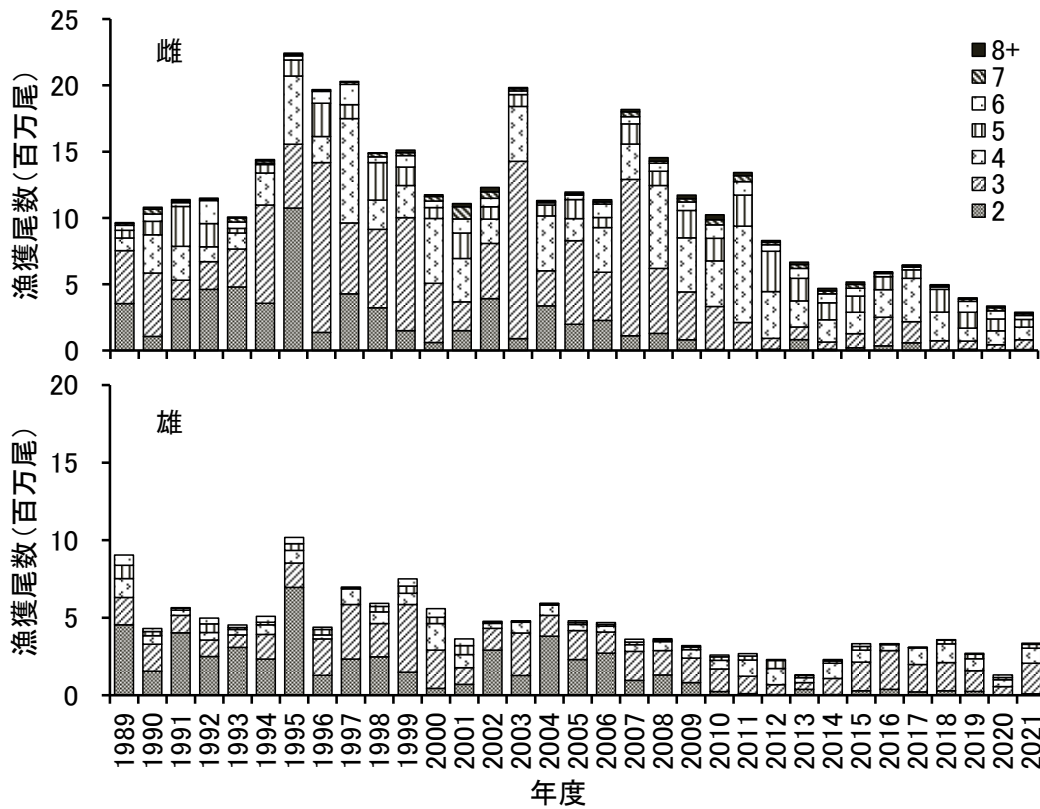


図 3-4. 雌雄別年齢別漁獲尾数

中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場（2023）から引用

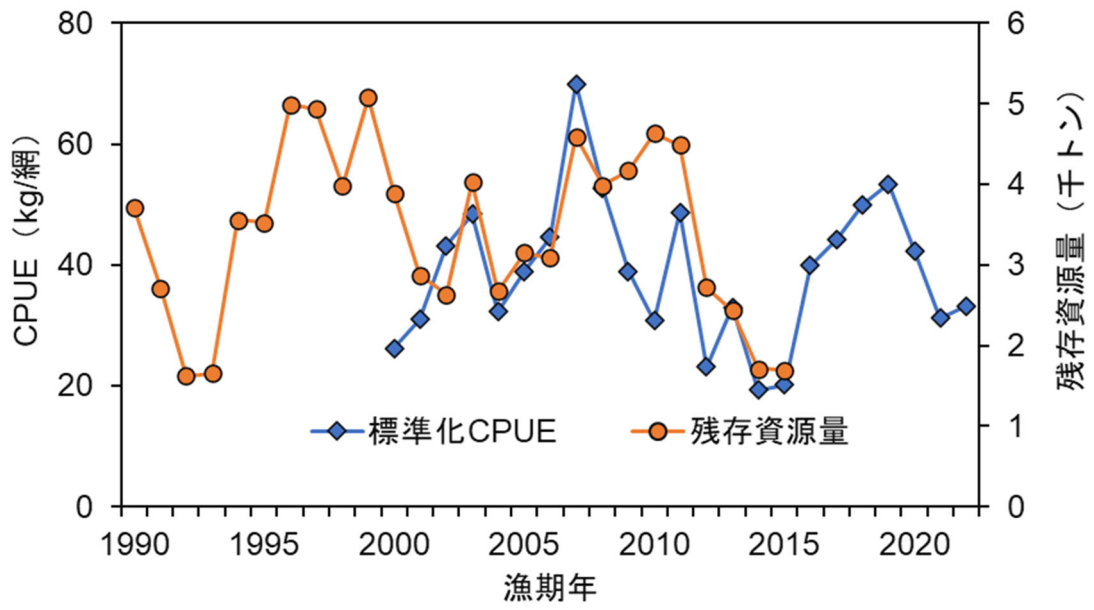


図 4-1. 沖底標準化 CPUE と VPA で推定された資源量から換算した残存資源量

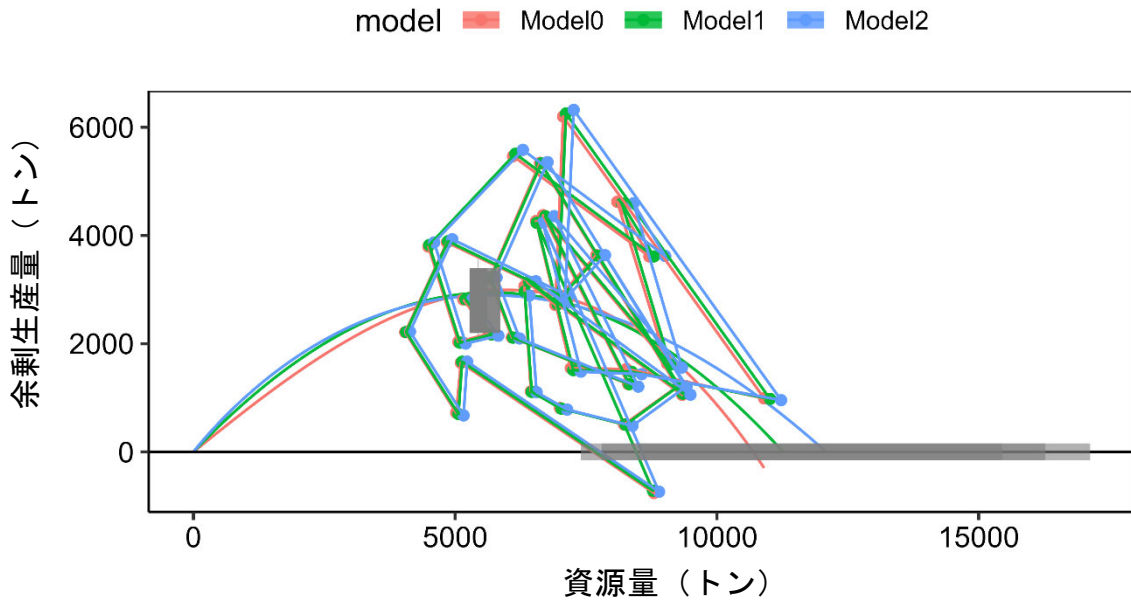


図 4-2. 資源量に対する余剰生産量の関係 (余剰生産量曲線)
灰色の網掛けは 90%信頼区間

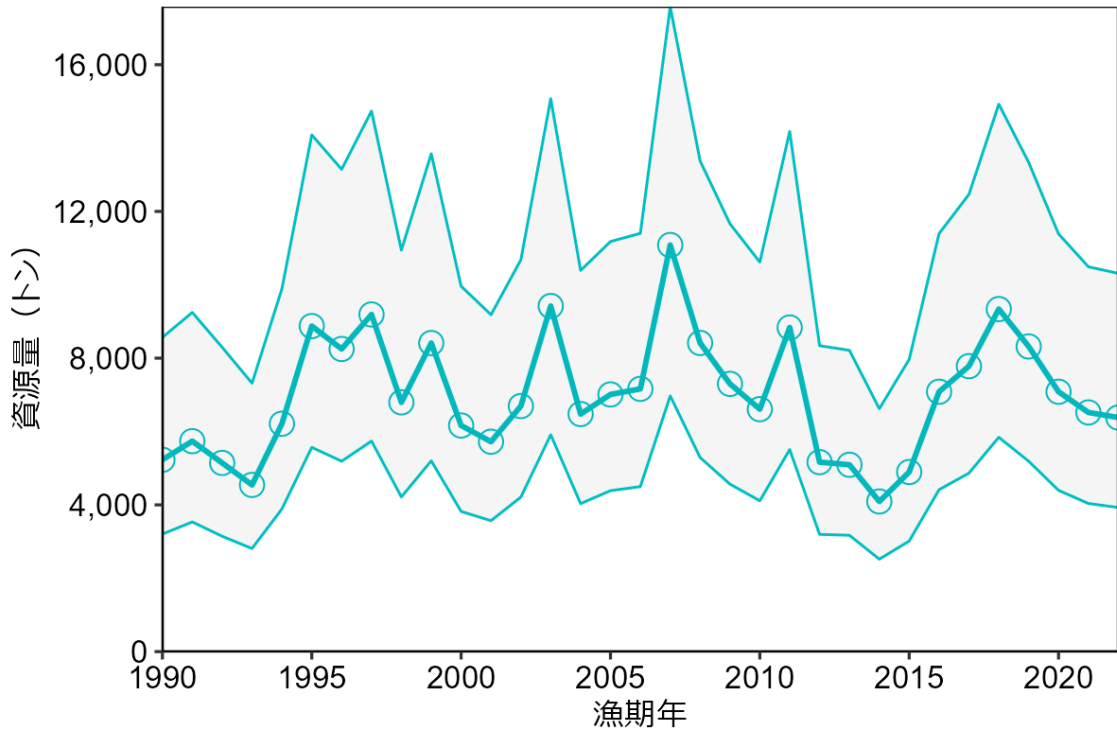


図 4-3. 資源量の推移（太い実線）と 90%信頼区間（灰色の網掛け）

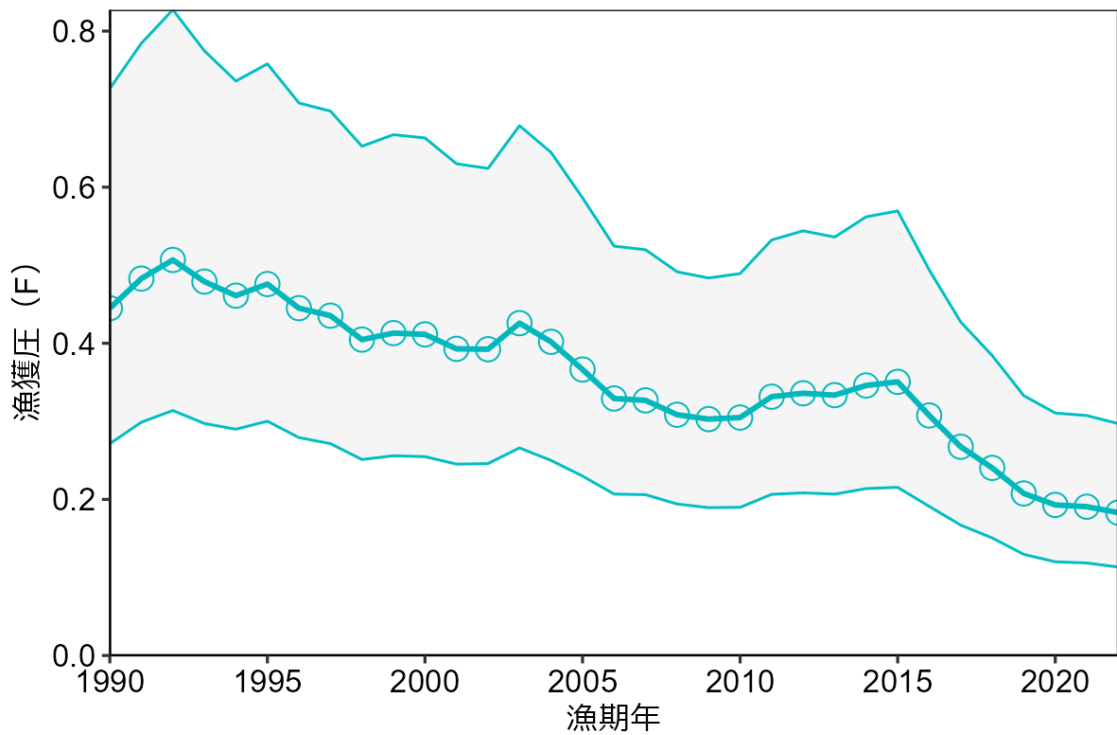


図 4-4. 漁獲圧の推移（太い実線）と 90%信頼区間（灰色の網掛け）

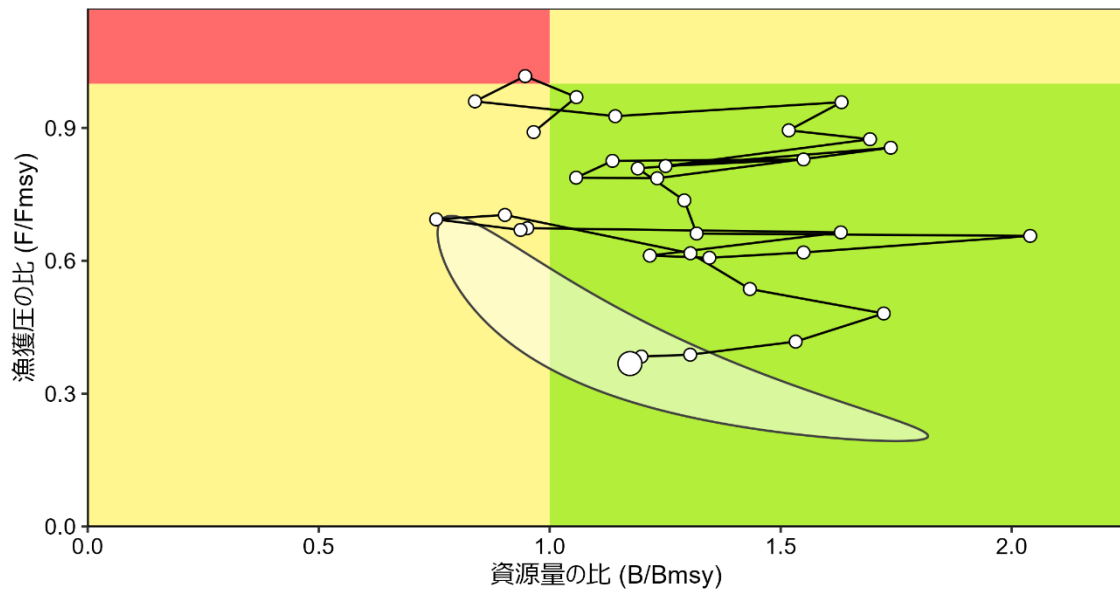


図 4-5. 神戸プロット

大きな白丸は 2022 年漁期の資源量と漁獲圧の関係。網掛けの楕円は 90%信頼区間。

表 3-1. 漁獲量の推移 (トン)

漁期年	沖底			沿岸			合計
	オホーツク	日本海	小計	オホーツク	日本海	小計	
1980	1,357	636	1,994				
1981	972	1,027	1,999				
1982	808	395	1,204				
1983	433	529	962				
1984	350	339	690				
1985	220	368	588	977	1,471	2,448	3,037
1986	114	235	348	373	1,068	1,441	1,790
1987	78	218	296	293	1,024	1,317	1,613
1988	29	277	306	360	1,743	2,102	2,409
1989	255	172	427	574	1,343	1,917	2,344
1990	196	193	389	498	1,438	1,937	2,326
1991	227	123	349	531	1,890	2,421	2,771
1992	91	158	249	447	1,911	2,358	2,607
1993	114	233	347	446	1,384	1,830	2,177
1994	293	151	444	534	1,884	2,419	2,863
1995	314	475	789	866	2,574	3,440	4,229
1996	201	304	505	542	2,623	3,166	3,671
1997	311	456	767	889	2,346	3,235	4,003
1998	134	234	368	497	1,882	2,379	2,748
1999	159	436	595	701	2,178	2,880	3,475
2000	77	189	267	423	1,848	2,271	2,537
2001	102	154	256	503	1,490	1,994	2,249
2002	179	158	336	723	1,565	2,288	2,625
2003	93	433	526	1,324	2,166	3,490	4,016
2004	175	183	358	905	1,340	2,245	2,602
2005	139	310	450	569	1,549	2,119	2,568
2006	155	351	506	345	1,506	1,851	2,357
2007	302	513	814	759	2,048	2,808	3,622
2008	217	288	505	821	1,270	2,091	2,595
2009	137	228	366	621	1,222	1,843	2,209
2010	112	179	291	501	1,221	1,722	2,013
2011	259	460	719	417	1,794	2,211	2,931
2012	237	93	330	574	833	1,407	1,737
2013	152	178	330	405	963	1,368	1,698
2014	178	109	287	387	742	1,129	1,416
2015	154	106	260	435	1,024	1,459	1,719

表 3-1. 漁獲量の推移（トン）（つづき）

漁期年	沖底			沿岸			合計
	オホーツク	日本海	小計	オホーツク	日本海	小計	
2016	295	218	513	452	1,214	1,666	2,179
2017	249	304	553	691	835	1,527	2,080
2018	359	314	673	432	1,140	1,573	2,246
2019	183	197	379	391	956	1,347	1,727
2020	249	70	319	335	712	1,047	1,365
2021	135	80	215	528	499	1,027	1,243
2022	218	21	240	427	501	928	1,167

漁期年は7月～翌年6月。

沖底漁業の集計範囲は中海区北海道日本海およびオホーツク沿岸（ロシア水域除く）。

沿岸漁業の集計範囲は積丹からウトロまで。

2021、2022年漁期は暫定値。

1984年漁期以前の沿岸漁業漁獲量は未集計。

表 3-2. 沖底かけまわし漁獲努力量の推移

漁期年	全操業網数	有漁網数
1980	80,237	21,235
1981	82,048	27,167
1982	80,235	27,838
1983	70,044	26,721
1984	69,808	25,981
1985	81,963	26,339
1986	59,049	13,354
1987	69,644	17,417
1988	72,690	15,502
1989	65,612	16,052
1990	66,355	17,585
1991	55,885	8,897
1992	51,143	11,809
1993	48,522	11,736
1994	51,356	14,397
1995	47,856	18,075
1996	45,547	13,455
1997	46,751	15,975
1998	43,098	14,582
1999	36,761	16,055
2000	27,373	9,513
2001	26,342	8,683
2002	24,068	8,234
2003	27,222	11,850
2004	26,545	10,233
2005	27,499	11,395
2006	28,190	11,829
2007	25,809	13,767
2008	22,020	11,164
2009	23,201	11,960
2010	20,766	9,298
2011	20,910	11,461
2012	17,440	6,986
2013	19,594	9,031
2014	18,912	7,548
2015	14,833	5,228
2016	14,561	6,258

表 3-2. 沖底かけまわし漁獲努力量の推移（つづき）

漁期年	全操業網数	有漁網数
2017	15,217	6,548
2018	13,690	5,471
2019	13,417	4,996
2020	11,841	3,341
2021	11,648	3,682
2022	10,444	2,604

月別・漁区別・船別データに基づく試験操業を除く通常操業の値。ただし、2015年漁期以降は一部の試験操業を通常操業とみなした。

表 4-1. 資源量指標値の推移

漁期年	沖底標準化 CPUE (kg/網)	残存資源量 D (トン)
1990		3,715
1991		2,712
1992		1,622
1993		1,658
1994		3,558
1995		3,530
1996		4,988
1997		4,933
1998		3,978
1999		5,083
2000	26.2	3,890
2001	31.0	2,870
2002	43.2	2,631
2003	48.4	4,032
2004	32.3	2,675
2005	39.0	3,154
2006	44.6	3,088
2007	69.9	4,594
2008	52.6	3,987
2009	38.9	4,173
2010	30.8	4,634
2011	48.7	4,493
2012	23.1	2,721
2013	33.0	2,436
2014	19.3	1,712
2015	20.2	1,693
2016	39.9	
2017	44.1	
2018	50.0	
2019	53.4	
2020	42.3	
2021	31.2	
2022	33.2	

表 4-2. 最大持続生産量を実現する資源量および漁獲圧

項目	資源量 (千トン)	環境収容力 に対する比	漁獲圧	期待出来る 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲 圧に対する 比
最大持続生産 量を実現する資 源量(Bmsy)	5.4 (3.5~8.2)	0.48 (0.34~0.64)	0.50 (0.31~0.80)	2.7 (2.1~3.4)	2.72 (1.66~4.46)

余剰生産モデルの結果に基づき、最大持続生産量を実現する資源量 (Bmsy)、およびその環境収容力 (K) に対する比、対応する漁獲圧 (Fmsy)、対応する漁獲圧の下で期待される漁獲量 (MSY)、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy/F2022) を示す。3つの基本モデルによる推定結果から 30,000 回の繰り返し計算数分だけパラメータセットを再生成して算出した値の中央値を代表値として、5 パーセンタイル値と 95 パーセンタイル値を 90%信頼区間として示した。

表 4-3. 資源量と漁獲圧の推定値（代表値と 90%信頼区間）

漁期年	資源量(千トン)			漁獲圧		
	下限	代表値	上限	下限	代表値	上限
1990	3.2	5.2	8.6	0.27	0.44	0.73
1991	3.5	5.7	9.2	0.30	0.48	0.78
1992	3.1	5.1	8.3	0.31	0.51	0.83
1993	2.8	4.5	7.3	0.30	0.48	0.77
1994	3.9	6.2	9.9	0.29	0.46	0.74
1995	5.6	8.9	14.1	0.30	0.48	0.76
1996	5.2	8.2	13.1	0.28	0.45	0.71
1997	5.7	9.2	14.7	0.27	0.44	0.70
1998	4.2	6.8	10.9	0.25	0.40	0.65
1999	5.2	8.4	13.6	0.26	0.41	0.67
2000	3.8	6.2	10.0	0.25	0.41	0.66
2001	3.6	5.7	9.2	0.25	0.39	0.63
2002	4.2	6.7	10.7	0.25	0.39	0.62
2003	5.9	9.4	15.1	0.27	0.43	0.68
2004	4.0	6.5	10.4	0.25	0.40	0.64
2005	4.4	7.0	11.2	0.23	0.37	0.59
2006	4.5	7.2	11.4	0.21	0.33	0.52
2007	7.0	11.1	17.6	0.21	0.33	0.52
2008	5.3	8.4	13.4	0.19	0.31	0.49
2009	4.6	7.3	11.7	0.19	0.30	0.48
2010	4.1	6.6	10.6	0.19	0.30	0.49
2011	5.5	8.8	14.2	0.21	0.33	0.53
2012	3.2	5.2	8.3	0.21	0.34	0.54
2013	3.2	5.1	8.2	0.21	0.33	0.54
2014	2.5	4.1	6.6	0.21	0.35	0.56
2015	3.0	4.9	8.0	0.22	0.35	0.57
2016	4.4	7.1	11.4	0.19	0.31	0.49
2017	4.9	7.8	12.5	0.17	0.27	0.43
2018	5.8	9.3	14.9	0.15	0.24	0.38
2019	5.2	8.3	13.3	0.13	0.21	0.33
2020	4.4	7.1	11.4	0.12	0.19	0.31
2021	4.0	6.5	10.5	0.12	0.19	0.31
2022	3.9	6.4	10.3	0.11	0.18	0.30

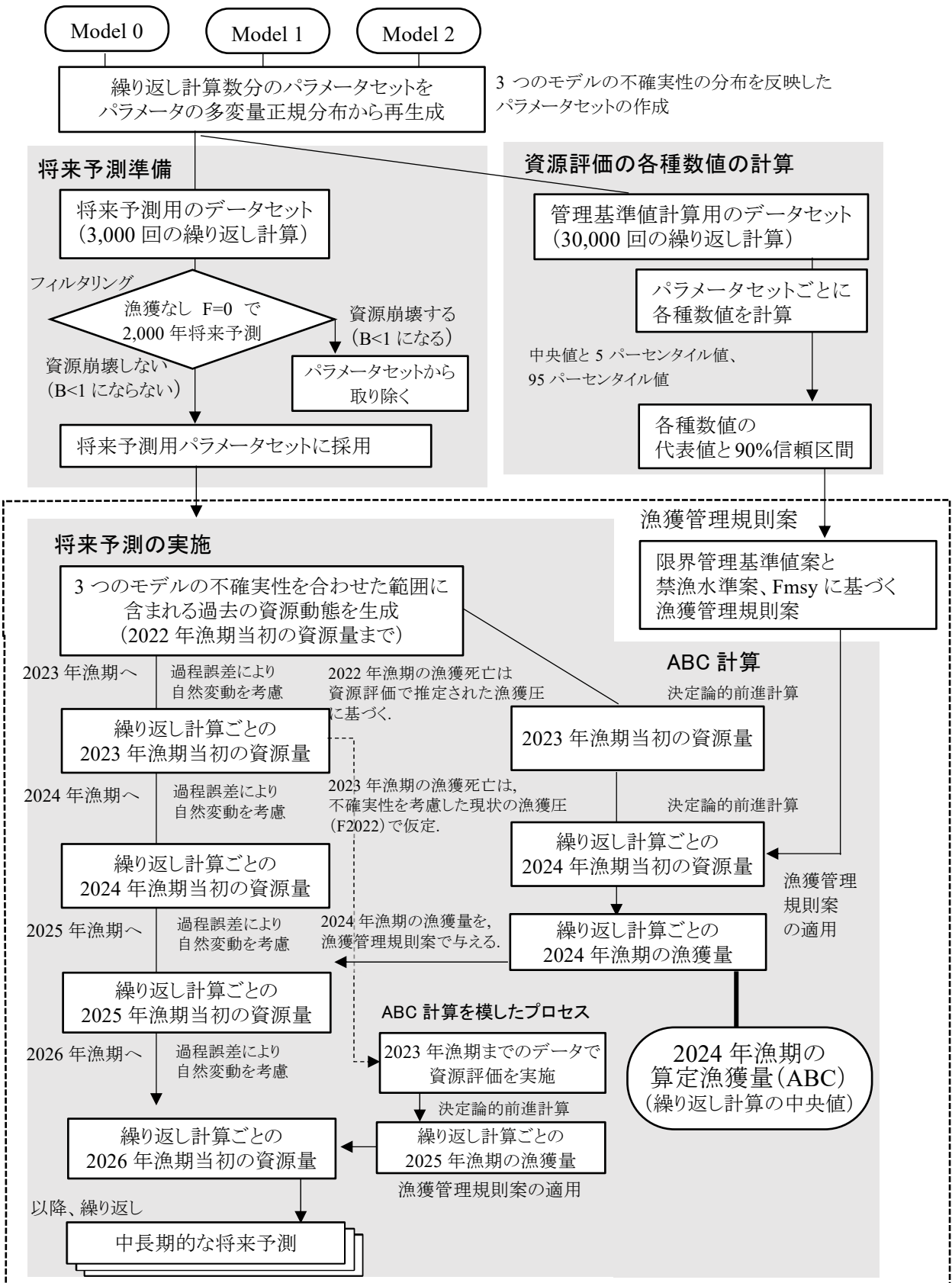
表 4-4. 資源量と Bmsy および漁獲圧と Fmsy の比（代表値と 90%信頼区間）

漁期年	B/Bmsy			F/Fmsy		
	下限	代表値	上限	下限	代表値	上限
1990	0.69	0.97	1.40	0.55	0.89	1.43
1991	0.77	1.06	1.51	0.60	0.97	1.54
1992	0.69	0.95	1.34	0.63	1.02	1.62
1993	0.62	0.84	1.17	0.61	0.96	1.51
1994	0.86	1.14	1.59	0.58	0.93	1.46
1995	1.22	1.63	2.29	0.60	0.96	1.50
1996	1.14	1.52	2.12	0.56	0.89	1.40
1997	1.27	1.69	2.36	0.55	0.87	1.37
1998	0.94	1.25	1.73	0.51	0.81	1.27
1999	1.16	1.55	2.16	0.52	0.83	1.31
2000	0.86	1.14	1.57	0.52	0.83	1.30
2001	0.80	1.06	1.45	0.50	0.79	1.24
2002	0.94	1.23	1.70	0.50	0.79	1.24
2003	1.30	1.74	2.42	0.53	0.86	1.35
2004	0.90	1.19	1.65	0.51	0.81	1.27
2005	0.97	1.29	1.80	0.46	0.74	1.17
2006	1.00	1.32	1.83	0.41	0.66	1.04
2007	1.53	2.04	2.85	0.41	0.66	1.04
2008	1.17	1.55	2.17	0.39	0.62	0.98
2009	1.01	1.35	1.87	0.38	0.61	0.96
2010	0.92	1.22	1.69	0.38	0.61	0.97
2011	1.22	1.63	2.26	0.41	0.66	1.06
2012	0.71	0.95	1.33	0.42	0.67	1.08
2013	0.70	0.94	1.33	0.41	0.67	1.08
2014	0.56	0.75	1.06	0.43	0.69	1.12
2015	0.66	0.90	1.28	0.43	0.70	1.14
2016	0.96	1.30	1.85	0.38	0.62	1.00
2017	1.06	1.43	2.01	0.33	0.54	0.86
2018	1.28	1.72	2.41	0.30	0.48	0.78
2019	1.13	1.53	2.17	0.26	0.42	0.67
2020	0.96	1.30	1.85	0.24	0.39	0.63
2021	0.88	1.20	1.70	0.23	0.38	0.63
2022	0.86	1.17	1.67	0.22	0.37	0.60

表 4-5. 資源解析結果 (代表値)

漁期年	漁獲量 (千トン)	資源量 (千トン)	漁獲圧(F)	B/Bmsy	F/Fmsy
1990	2.3	5.2	0.44	0.97	0.89
1991	2.8	5.7	0.48	1.06	0.97
1992	2.6	5.1	0.51	0.95	1.02
1993	2.2	4.5	0.48	0.84	0.96
1994	2.9	6.2	0.46	1.14	0.93
1995	4.2	8.9	0.48	1.63	0.96
1996	3.7	8.2	0.45	1.52	0.89
1997	4.0	9.2	0.44	1.69	0.87
1998	2.7	6.8	0.40	1.25	0.81
1999	3.5	8.4	0.41	1.55	0.83
2000	2.5	6.2	0.41	1.14	0.83
2001	2.3	5.7	0.39	1.06	0.79
2002	2.6	6.7	0.39	1.23	0.79
2003	4.0	9.4	0.43	1.74	0.86
2004	2.6	6.5	0.40	1.19	0.81
2005	2.6	7.0	0.37	1.29	0.74
2006	2.4	7.2	0.33	1.32	0.66
2007	3.6	11.1	0.33	2.04	0.66
2008	2.6	8.4	0.31	1.55	0.62
2009	2.2	7.3	0.30	1.35	0.61
2010	2.0	6.6	0.30	1.22	0.61
2011	2.9	8.8	0.33	1.63	0.66
2012	1.7	5.2	0.34	0.95	0.67
2013	1.7	5.1	0.33	0.94	0.67
2014	1.4	4.1	0.35	0.75	0.69
2015	1.7	4.9	0.35	0.90	0.70
2016	2.2	7.1	0.31	1.30	0.62
2017	2.1	7.8	0.27	1.43	0.54
2018	2.2	9.3	0.24	1.72	0.48
2019	1.7	8.3	0.21	1.53	0.42
2020	1.4	7.1	0.19	1.30	0.39
2021	1.2	6.5	0.19	1.20	0.38
2022	1.2	6.4	0.18	1.17	0.37

補足資料 1 解析の流れ



※ 点線枠内は資源管理方針に関する検討会における議論をふまえて作成される。

補足資料 2 計算方法

本資源では、Pella-Tomlinson 型の状態空間余剰生産モデル（プロダクションモデル）である SPiCT（連続時間における確率的な状態空間余剰生産モデル：Pedersen and Berg 2017）を用いた資源解析に基づき資源状態を評価している。目標管理基準値案である最大持続生産量を実現する資源量（Bmsy）や、漁獲管理規則での漁獲圧の上限となる Fmsy は、基本的には SPiCT での推定値に基づく。SPiCT の基本式およびパラメータを以下に示す。

(1) 状態空間余剰生産モデル

状態モデル

SPiCT では、直接観察されない資源量の時間変化（状態モデル）を以下のように表している。

$$dB_t = \frac{r}{n-1} B_t \left(1 - \left[\frac{B_t}{K} \right]^{n-1} \right) dt - F_t B_t dt + \sigma_B B_t dW_t \quad (1)$$

ここで B_t は時間 t での資源量、 F_t は時間 t での漁獲係数、 r は内的自然増加率、 K は環境収容力である。 $\sigma_B B_t dW_t$ は過程誤差（過程誤差）であり、 σ_B は過程誤差の標準偏差、 W_t はブラウン運動である。 n は余剰生産曲線の形を規定する形状パラメータであり、その値が大きいくほど環境収容力に対する Bmsy（最大持続生産量を実現する資源量）の相対的な位置が大きくなる。一般的に r と K には強い相関があることから、Fletcher（1978）による（2）式への変形により、より安定した推定を実現している。

$$dB_t = \left(\gamma m \frac{B_t}{K} - \gamma m \left[\frac{B_t}{K} \right]^n - F_t B_t \right) dt + \sigma_B B_t dW_t \quad (2)$$

ここで γ は（3）式、 m は（4）式の通りである。

$$\gamma = n^{n/(n-1)} / (n-1) \quad (3)$$

$$m = \frac{rK}{n^{n/(n-1)}} \quad (4)$$

資源評価期間の最初の年の資源量に関するパラメータとして、初期資源量の環境収容力に対する比 $bkfrac$ も間接的に求められる。決定論的（ $\sigma_B=0$ ）な個体群動態のもとでは、（5）式の通り m は最大持続生産量 MSY の値に相当する。また、決定論的な Bmsy および Fmsy はそれぞれ以下の（6）式および（7）式で表される。

$$MSY^d = m \quad (5)$$

$$B_{msy}^d = n^{1/(1-n)} K \quad (6)$$

$$F_{msy}^d = m / B_{msy} \quad (7)$$

一方、確率論的な MSY、Bmsy、および Fmsy はそれぞれ以下の（8）（9）（10）式で表される。

$$MSY^s = MSY^d \left(1 - \frac{n/2}{1 - (1 - F_{msy}^d)^2 \sigma_B^2} \right) \quad (8)$$

$$B_{msy}^s = B_{msy}^d \left(1 - \frac{1 + F_{msy}^d (n-2)/2}{F_{msy}^d - (2 - F_{msy}^d)^2 \sigma_B^2} \right) \quad (9)$$

$$F_{msy}^S = F_{msy}^d - \frac{(n-1)(1-F_{msy}^d)}{(2-F_{msy}^d)^2} \sigma_B^2 \quad (10)$$

形状パラメータ n が 1 を下回る場合は確率論的な MSY、 B_{msy} 、および F_{msy} の推定値は不安定になるとされているため、Pedersen and Berg (2017) に従い、 $n > 1$ の場合には確率論的な値を、 $0 < n \leq 1$ の場合には決定論的な値を用いている。

SPiCT では、季節的な漁獲のプロセスを以下の (11) (12) 式でモデル化しており、1 年間に細かく区切った計算が可能である。

$$F_t = S_t G_t \quad (11)$$

$$d \log G_t = \sigma_F dV_t \quad (12)$$

ここで漁獲係数 F_t は漁獲の季節変化 S_t とランダムな効果 G_t から構成される。 σ_F は漁獲係数のノイズに関する標準偏差、 V_t はブラウン運動である。漁獲の季節変化をモデル化する場合 S_t に周期的な B スプライン曲線を仮定する等の方法がある。

観測モデル

SPiCT でのパラメータの推定に用いる指標値は以下の観測モデルで取り扱われる。

$$\log(I_{t,i}) = \log(q_i B_t) + e_{t,i} \quad (13)$$

$$e_{t,i} \sim N(0, \sigma_{I,i}^2) \quad (14)$$

SPiCT では複数の指標値を使用できる。 $I_{t,i}$ は i 番目の指標値の時間 t における値である。 q_i は i 番目の指標値における漁獲効率パラメータである。 $e_{t,i}$ は i 番目の指標値の観測誤差であり、 $\sigma_{I,i}$ はその標準偏差である。

SPiCT では、漁獲量統計値の誤差に対応して、漁獲量も直接的に観察されない値として以下の (15) (16) 式で推定できる。

$$\log(C_t) = \log\left(\int_t^{t+\Delta} F_s B_s ds\right) + \epsilon_t \quad (15)$$

$$\epsilon_t \sim N(0, \sigma_C^2) \quad (16)$$

ここで ϵ_t は漁獲量の観測誤差であり、 σ_C はその標準偏差である。ただし本資源のモデルでは観察された漁獲量の誤差は相当に小さい ($\sigma_C = 0.01$ で固定) と仮定している。

資源評価での推定パラメータ

SPiCT では余剰生産モデルのパラメータはベイズ推定の一種である罰則付き最尤法で推定する。本資源では、 n 、 m 、 K 、 q_i 、 B_t 、 F_t 、 σ_B 、 $\sigma_{I,i}$ 、 σ_F 、 $bkfrac$ を推定している。内的自然増加率 r は n 、 m 、および K が推定されることで下式 (17) により得られる。

$$r = m \left(\frac{K}{n(n/(n-1))} \right)^{-1} \quad (17)$$

それぞれのパラメータには推定を行う前に既知の情報として事前分布を置くことや、予め既知パラメータとして与えることが可能である。

(2) 資源評価での使用データとモデル設定

使用するデータセット

余剰生産モデルに用いる漁獲量として、1990～2022年漁期の漁獲量集計値を用いた。前述の通り、SPiCTでは漁獲量にも誤差が含まれていると仮定して推定することが出来るが、本資源のモデルでは観察された漁獲量の誤差は相当に小さいものと仮定した。指標値 I_1 として道総研がVPAで推定した資源重量（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2023）を余剰生産モデルに適用させるために換算した1990～2015年漁期の残存資源量 D を用いた。これは、VPAに基づく推定資源量が余剰生産モデルで推定される資源量とは定義が異なることによる。VPAの資源量は、ある年において成長・加入等の資源増加が起きた後、かつその年の漁獲が発生する前の値である。一方、余剰生産モデルでの資源量は、ある年において余剰生産量が加わる前、かつその年の漁獲が発生する前の値であり、VPAでは前年の漁獲および自然死亡で減じた後の残存資源量に相当する（補足図 2-1）。そこで、本検討ではVPAの結果に基づき下式により余剰生産モデルと対比させるための全年の残存資源量 D を求めた。

$$D_y = (B_{y-1} \cdot e^{\left(-\frac{M}{2}\right)} - C_{y-1})e^{\left(-\frac{M}{2}\right)} \quad (18)$$

ここで B_y はVPAで推定された y 年の資源重量、 C_y は y 年の漁獲量、 M はVPAによる解析において仮定された自然死亡係数（雄 0.250 と雌 0.208 の平均値 0.23）であり、得られた D が余剰生産モデルで推定される資源量に相当する。指標値 I_2 として沖底かけまわし漁法の標準化 CPUE のうち、2000～2022年漁期の数値を平均値 1 として規格化して用いた。CPUE の標準化の詳細は「令和 5（2023）年度マガレイ北海道北部系群の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の CPUE 標準化について（FRA-SA2023-SC16-201）」（千葉ほか 2023）に示した。

SPiCTでは一年を細かく分けて季節的な情報をモデルに取り入れることができるが、本資源では1年に1つの漁獲・指標値のデータを用いており、季節的な情報をモデルに取り入れていない。そのため、モデルでの時間刻みも一般的な離散型の余剰生産モデルと同様に1年刻みの個体群動態になるように設定した（11式では $S_t=1$ とした）。

パラメータの事前分布

SPiCTはベイズ推定的一种である罰則付き最尤法を用いるため、パラメータ推定の際には事前分布を与えることが出来る。一般的に形状パラメータ n は推定が困難であるため、本解析では n の事前分布の平均値を $n=2.00$ として検討した。内的自然増加率 r の事前分布の平均値はFishLife（Thorson 2020）に基づき $r=0.59$ として検討した。また、全てのモデルにおいて指標値 I_1 の漁獲効率パラメータ q_1 には平均値 1、標準偏差 0.39 の事前情報を与えた。漁獲効率パラメータ q_1 の事前情報の与え方の感度分析は昨年度の資料「令和 4（2022）年度マガレイ北海道北部系群の状態空間余剰生産モデルによる資源解析（FRA-SA2022-SC08-202）」（千葉ほか 2022）において検討している。昨年度は q_1 の標準偏差を 0.40 として計算したが、本年度の予備的な解析によって標準偏差を 0.40 とした場合に Model 1 におけるレトロスペクティブ解析で全ての年の推定値が得られなかった。昨年度の設定からの

変更を最小限に留めるため、 q_1 に与える標準偏差として 0.39 と 0.41 を検討したところ、0.39 として計算した場合にレトロスペクティブ解析の全ての年で推定値が得られたため、 q_1 には平均値 1.00、標準偏差 0.39 の事前情報を与えた。 q_2 、 σ_B 、 $\sigma_{I,i}$ 、 σ_F 、 $bkfrac$ には事前分布を与えずに推定している。

(3) 基本モデルでの推定結果と診断

推定値の妥当性の判断

「状態空間プロダクションモデルの我が国資源への適用のためのガイドライン (FRA-SA2023-ABCWG02-07)」(水産研究・教育機構 2023)に基づき、SPiCTによる資源計算結果のうち以下の3つのモデルにおいてモデル収束条件や推定パラメータの安定性・妥当性について大きな問題は認められず適切な推定値が得られたと判断し、資源評価に用いる基本モデルとした。基本モデルのうち、Model 0では n と r に事前分布を仮定しない無情報、Model 1では標準偏差 1.00を与えた対数正規分布を仮定する緩い事前分布を使用し、Model 2では標準偏差を 0.50として狭い事前分布を使用してパラメータ推定を行った。パラメータ推定の結果は補足表 2-1に示した。また、基本モデルごとの資源量と漁獲量の推定値を補足表 2-2に示した。

モデル診断

レトロスペクティブ解析の結果、3つの基本モデルでは全ての年の推定値が得られ、資源量と $Bmsy$ の比および漁獲量と $Fmsy$ の比ではレトロスペクティブバイアスが認められるが(Mohn's ρ はそれぞれ-0.16~-0.15、0.20~0.21)、その程度が全年データを使用した場合の90%信頼区間に納まった。資源量では過小推定、漁獲量では過大推定であることから、このバイアスに起因する資源崩壊のリスクは小さいと判断した(補足図 2-2)。モデル間でレトロスペクティブバイアスの顕著な違いは認められなかった。

指標値のあてはまりを残差分析により検討したところ、いずれも残差は正規分布の仮定によく当てはまっており、また、指標値 I_1 で一年差の自己相関が認められるが顕著な自己相関パターンは認められなかった(補足図 2-3)。指標値と後述する3つの基本モデルの推定結果を統合した推定資源量との関係は、指標値 1(残存資源量)よりも指標値 2(CPUE)において推定された資源量とトレンドが似ていた(補足図 2-4)。指標値を用いたモデルの推定において特段の問題はないものと考えられた。

要因分析により、推定された資源変動が余剰生産・漁獲・プロセス誤差のいずれから影響されているかを検討した。資源変動はいずれも余剰生産と漁獲量で説明される部分が多いが、2007年漁期の資源増加はプロセス誤差で説明される部分が大きく、近年では2019~2022年漁期にかけての資源減少もプロセス誤差で説明されていた(補足図 2-5)。

(4) 基本モデルの結果の統合

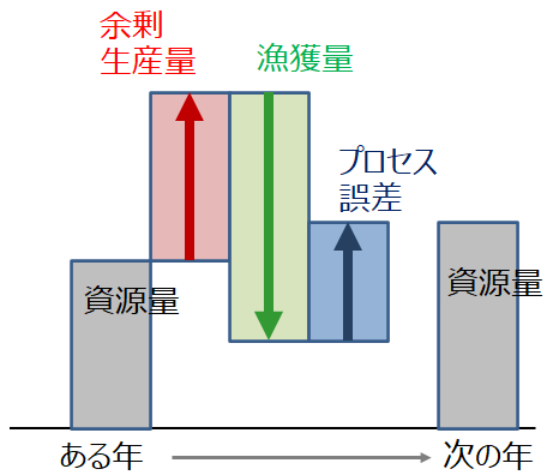
余剰生産モデルでは、モデルの構造上、 $Bmsy$ や $Fmsy$ など、MSYに関係する資源量や漁獲量の数値は資源評価ごとに更新される。これらの管理基準値に対応する数値は、3つの基本モデルの結果を統合して求めた。また、資源評価の各種数値についても、3つの基本モデルの結果を統合して示した。統合した結果の算出にあたり、それぞれのモデルで推

定パラメータの分散共分散行列を作成し、パラメータ間の相関を考慮したパラメータセットの再生成を行った。具体的には、固定効果のパラメータである n 、 m 、 K 、 σ_B 、 σ_C 、 σ_F 、 $\sigma_{I,1}$ 、 $\sigma_{I,2}$ 、 q_1 、 q_2 と、ランダム効果のパラメータである 1990～2022 年漁期の B および F の対数値からなるパラメータセットについて、多変量正規分布から繰り返し計算分だけパラメータをランダムに生成することで、それぞれのモデルでの推定の不確実性の範囲に含まれる資源動態とそのパラメータセットを得た。多変量正規分布で用いた分散は、それぞれのモデルで推定された精度行列の逆行列である分散共分散行列を用いた。本資料では、3 つの基本モデルから同じ数だけ生成した繰り返し計算数分のパラメータセットでの中央値、5 パーセンタイル値、および 95 パーセンタイル値から、代表値および 90% 区間を求めている。繰り返し計算数は、資源評価の各種数値の算出には 30,000 回とした。図 4-5 に示した神戸プロットは、資源評価の 3 つの基本モデルの結果を合わせたものである。基本モデルごとに色分けした神戸プロットを補足図 2-6 に示す。資源評価に用いた 3 つの基本モデルでは、それぞれ同様の結果が得られ、直近年(2022 年漁期)の資源量の B_{msy} との比 (B/B_{msy}) の代表値は 1 を上回るが 90% の信頼区間の一部が 1 を下回り、直近年の漁獲量の F_{msy} との比 (F/F_{msy}) は信頼区間を含めて 1 を下回ると推定された。なお、過去年の資源状態については神戸プロットに信頼区間が示されていないが、補足図 2-7 に示したように直近年同様の信頼区間が存在することに留意が必要である。

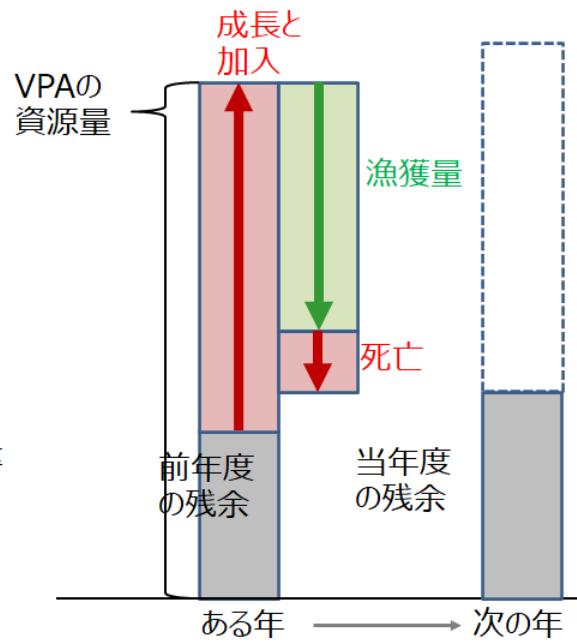
引用文献

- 千葉 悟・佐藤隆太・森田晶子・境 磨・濱津友紀 (2022) 令和 4 (2022) 年度マガレイ北海道北部系群の状態空間余剰生産モデルによる資源解析. FRA-SA2022-SC08-202.
- 千葉 悟・佐藤隆太・森田晶子・境 磨・濱津友紀 (2023) 令和 5 (2023) 年度マガレイ北海道北部系群の沖合底びき網漁業 (かけまわし漁法) の CPUE 標準化について. FRA-SA2023-SC16-201.
- 中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 (2023) マガレイ石狩湾以北日本海～オホーツク海海域. 2023 年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部, 156-168.
- Fletcher, R. I. (1978) On the restructuring of the Pella-Tomlinson system. *Fishery Bulletin*, **76**, 515-521.
- Pedersen, M. W., & Berg, C. W. (2017) A stochastic surplus production model in continuous time. *Fish and Fisheries*, **18**, 226-243.
- 水産研究・教育機構 (2023) 状態空間プロダクションモデルの我が国資源への適用のためのガイドライン. FRA-SA2023-ABCWG02-07. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2023-ABCWG02-07.pdf
- Thorson, J. T. (2020) Predicting recruitment density dependence and intrinsic growth rate for all fishes worldwide using a data-limited life-history model. *Fish and Fisheries*, **21**, 237–251. <https://doi.org/10.1111/FAF.12427>

余剰生産モデル (SPiCT)

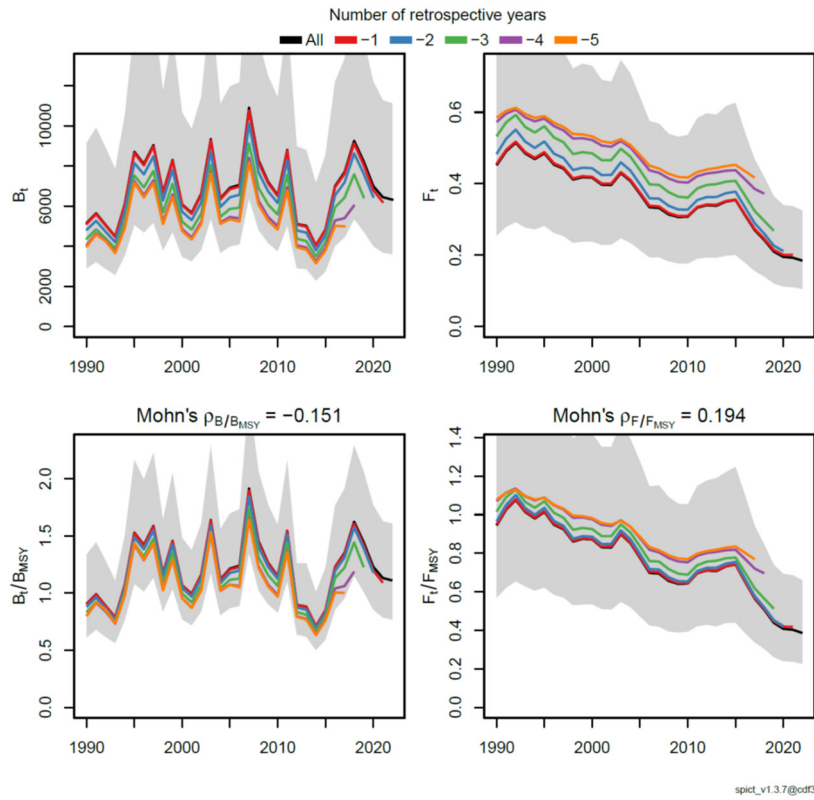


VPA

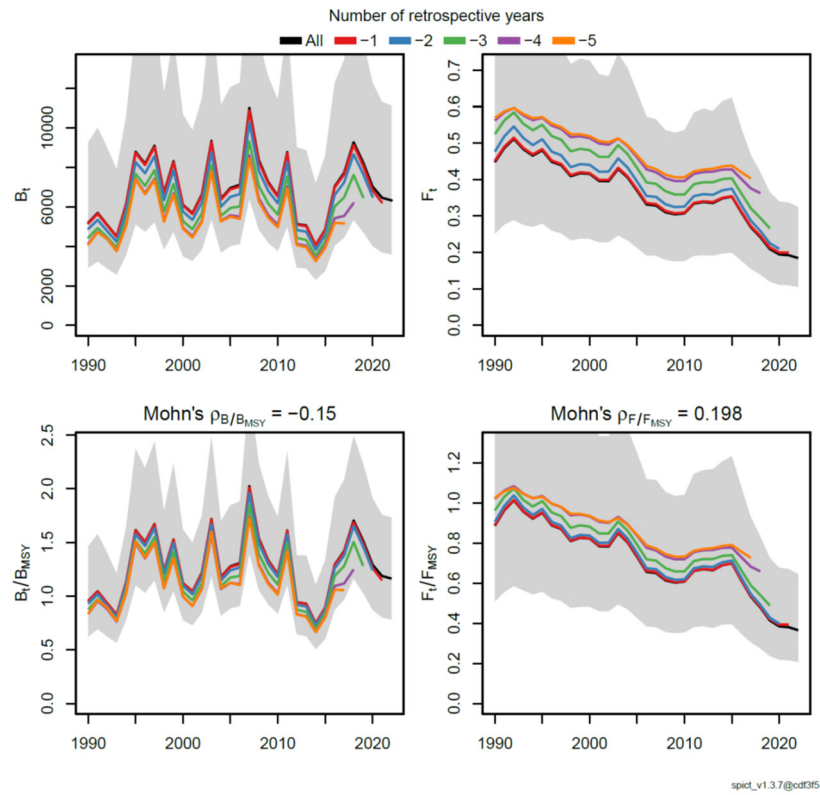


補足図 2-1. 余剰生産モデル (SPiCT) と VPA で推定される資源量の概念図

A) Model 0

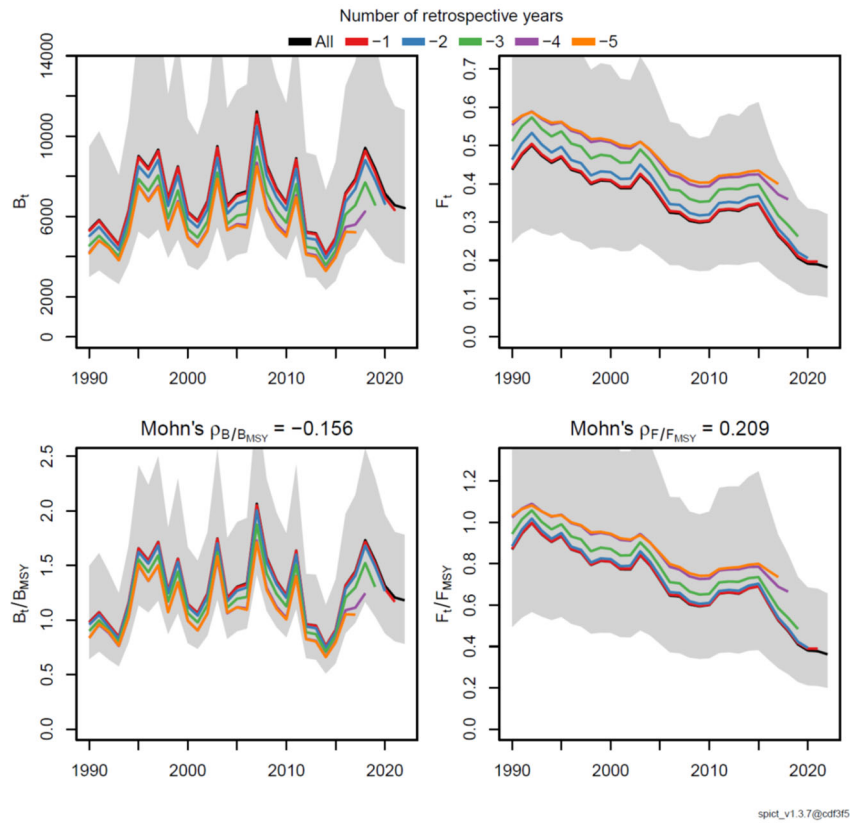


B) Model 1



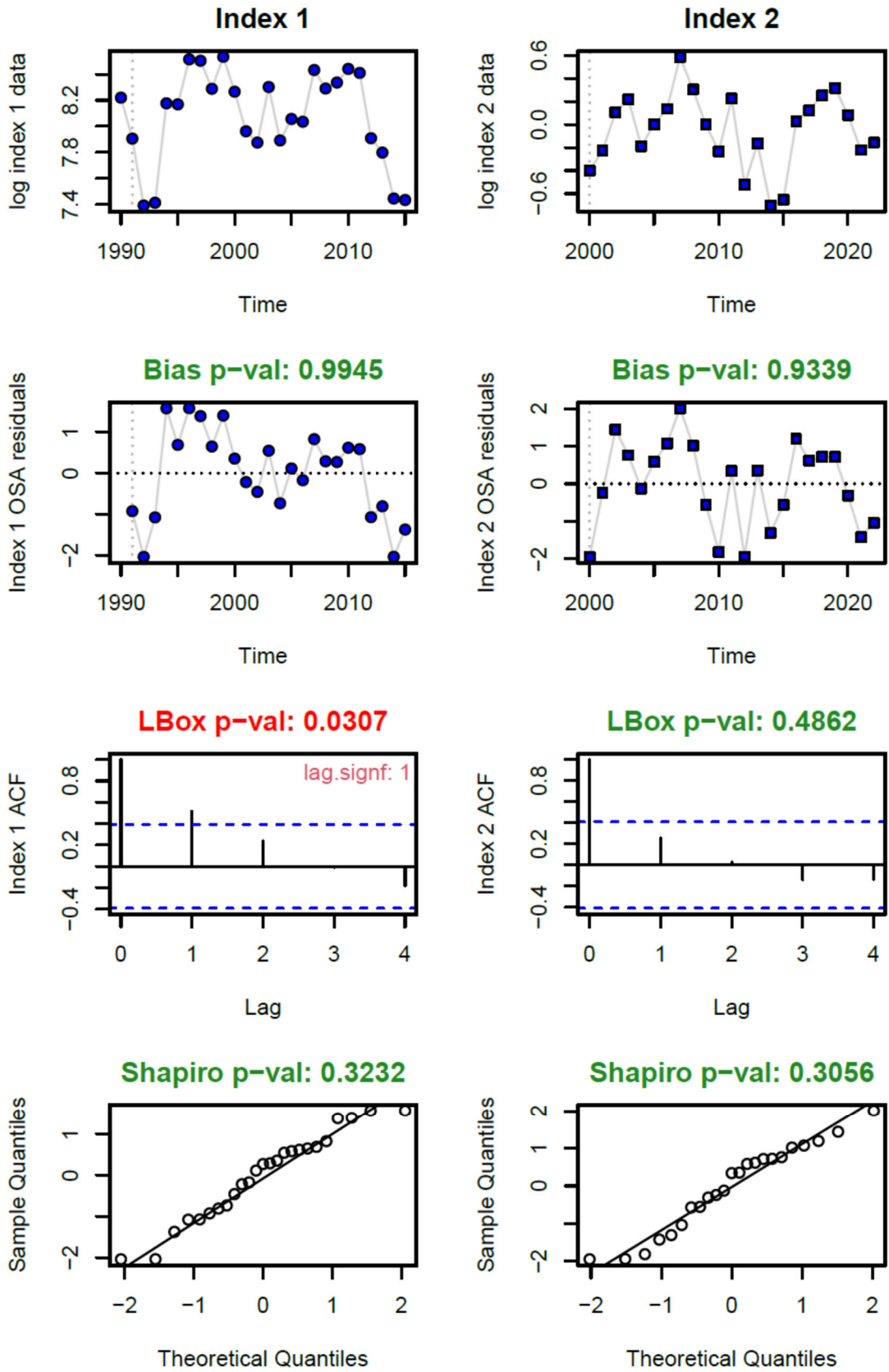
補足図 2-2. レトロスペクティブ解析の結果

C) Model 2



補足図 2-2. レトロスペクティブ解析の結果 (つづき)

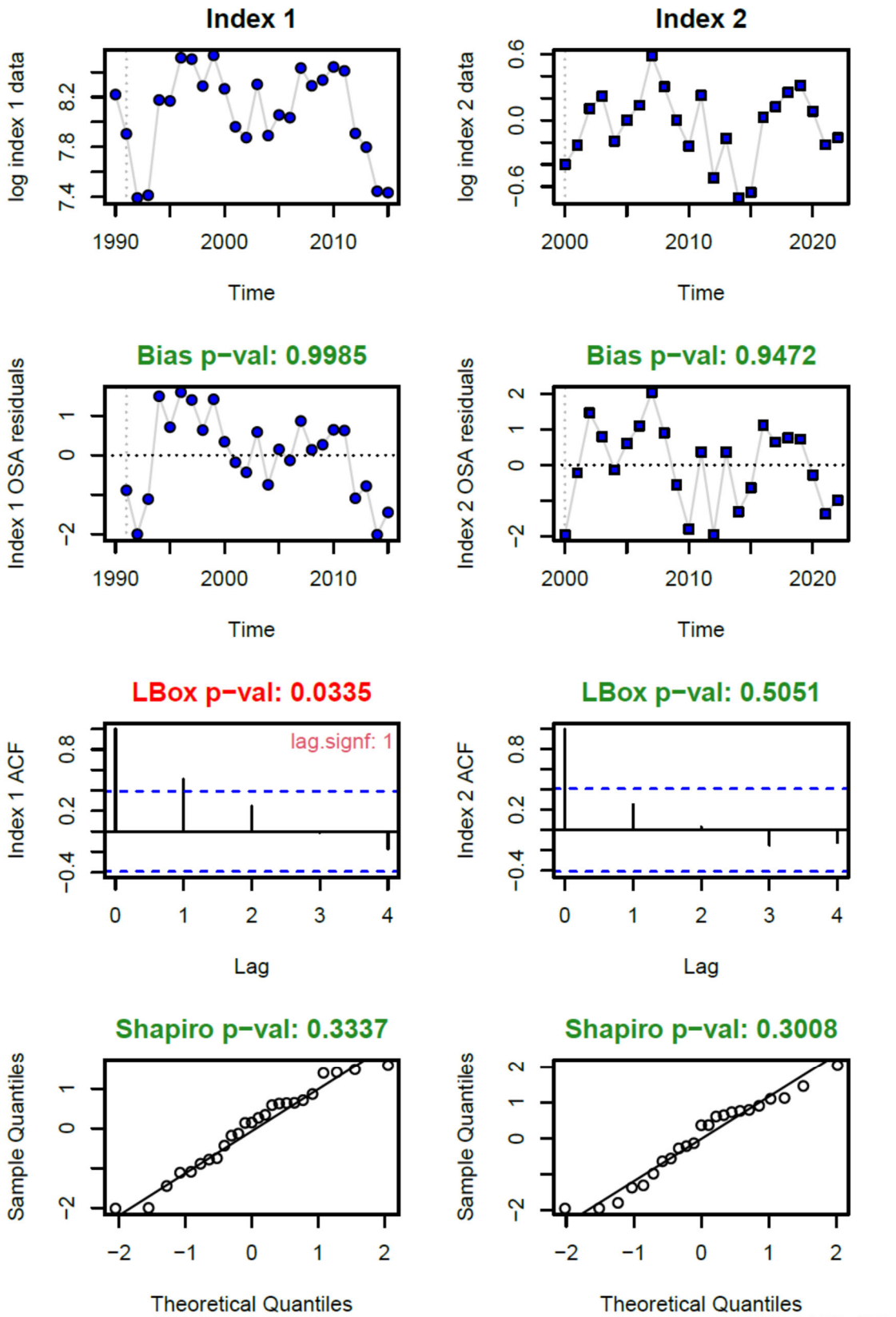
A) Model 0



spict_v1.3.7@cdf3f5

補足図 2-3. 指標値の残差分析

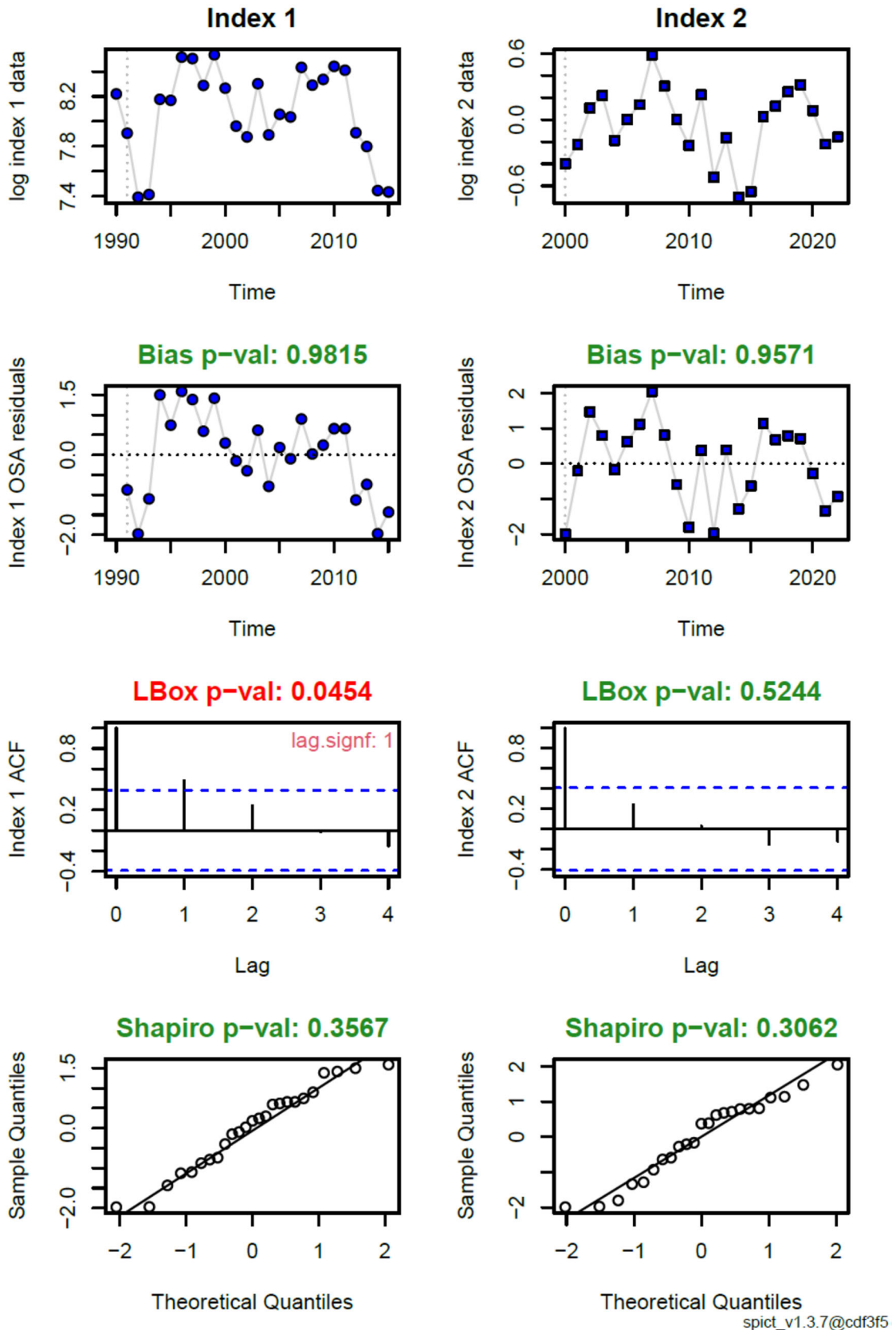
B) Model 1



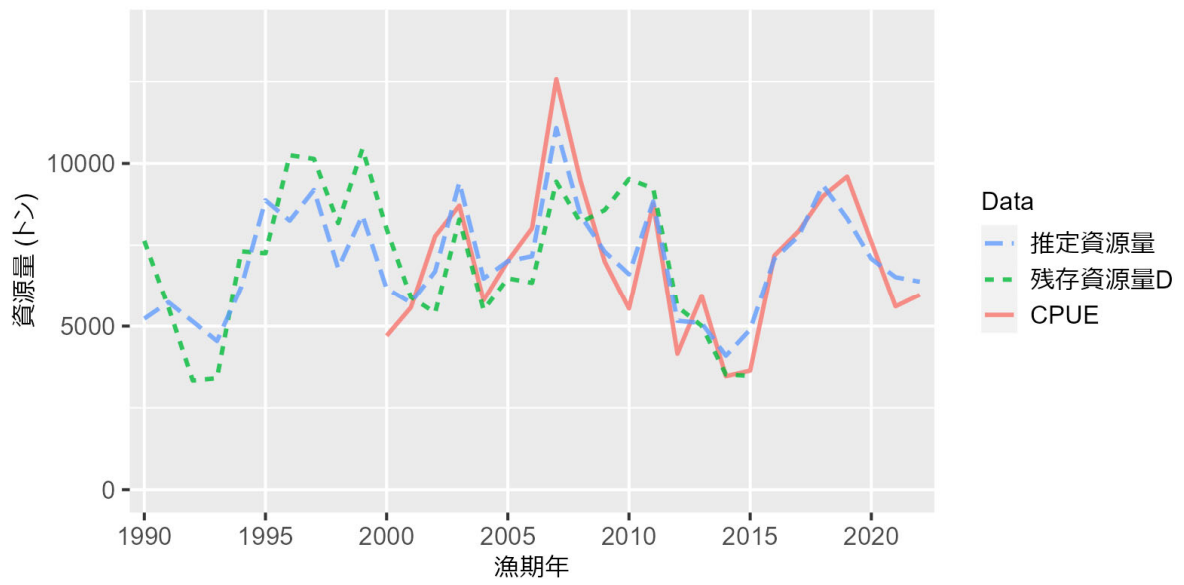
spict_v1.3.7@cdf3f5

補足図 2-3. 指標値の残差分析 (つづき)

C) Model 2



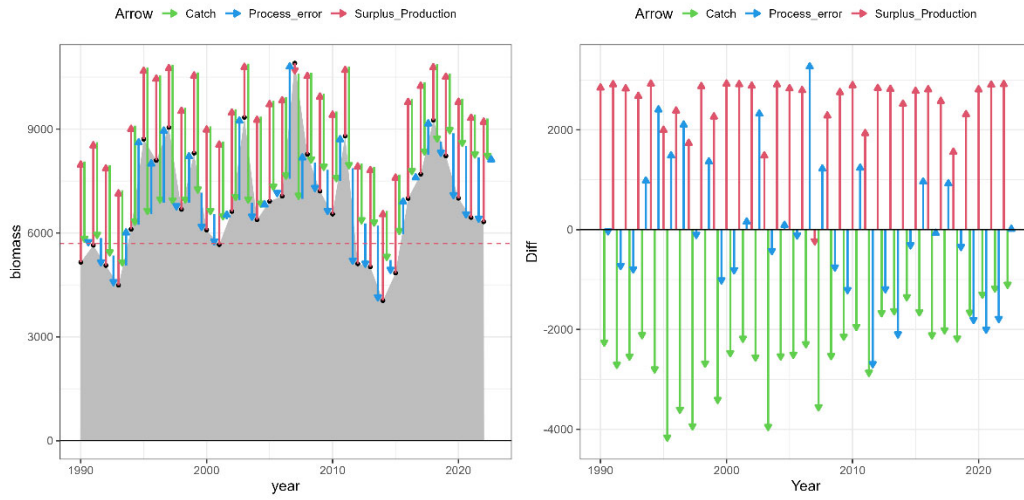
補足図 2-3. 指標値の残差分析 (つづき)



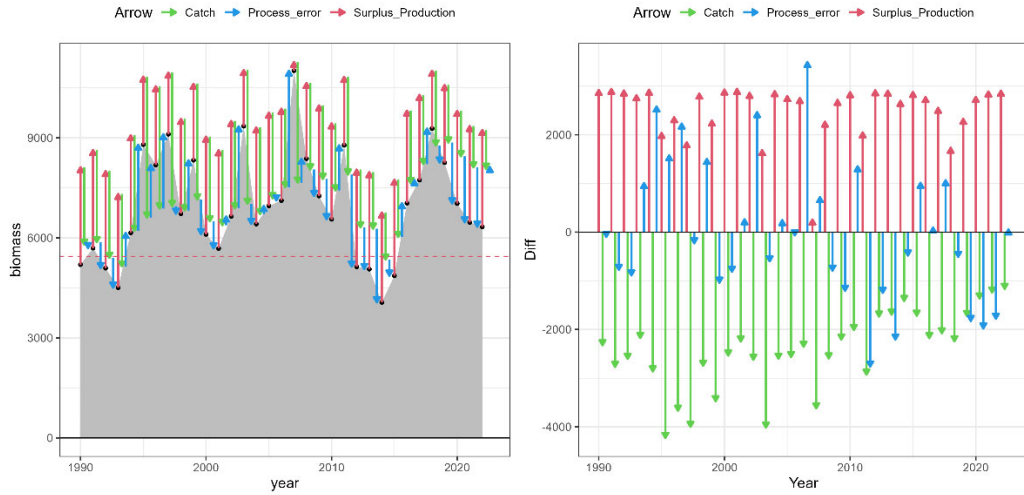
補足図 2-4. 指標値と推定資源量の関係

指標値は推定資源量にあわせて規格化してある。

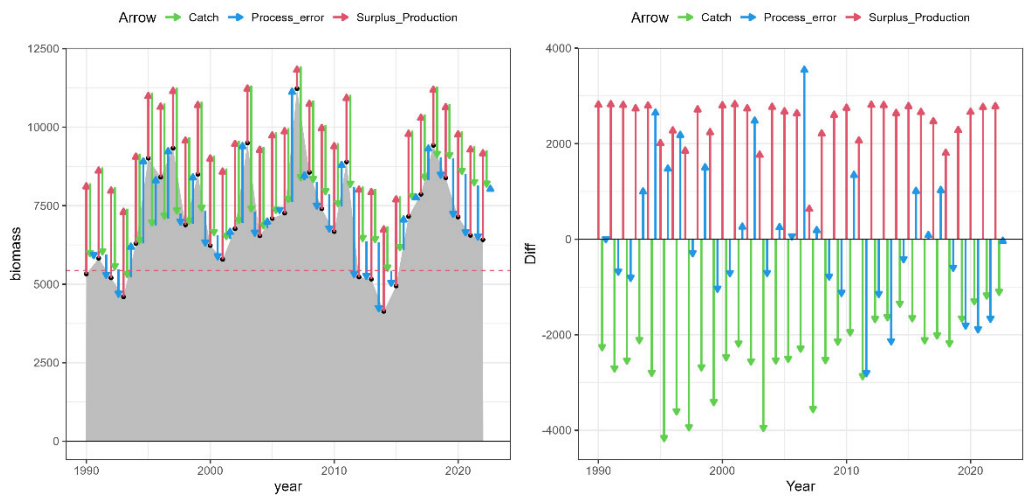
A) Model 0



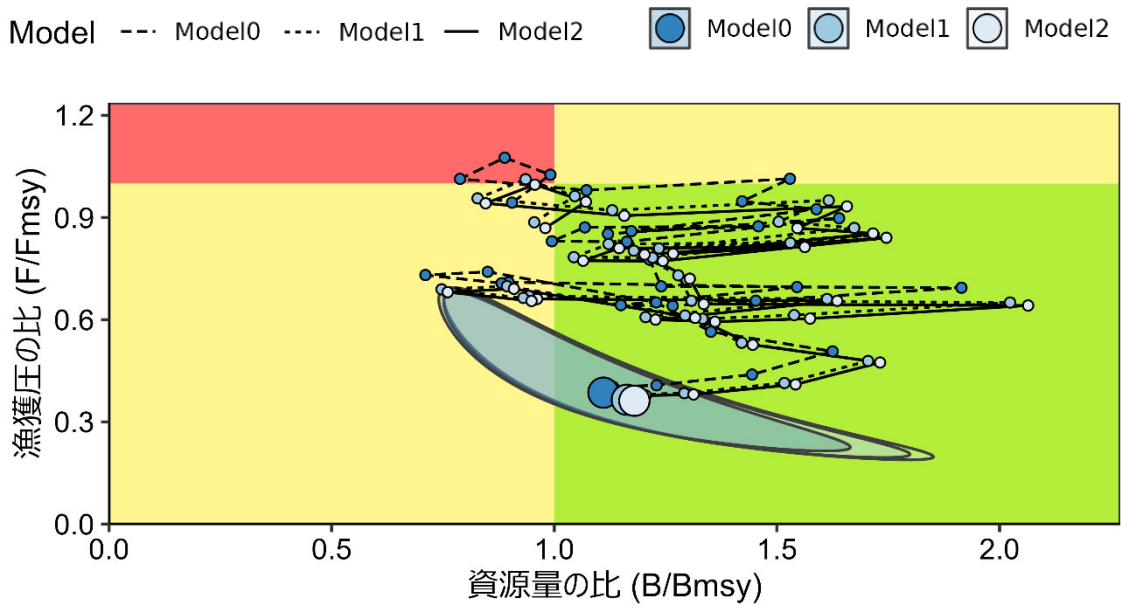
B) Model 1



C) Model 2



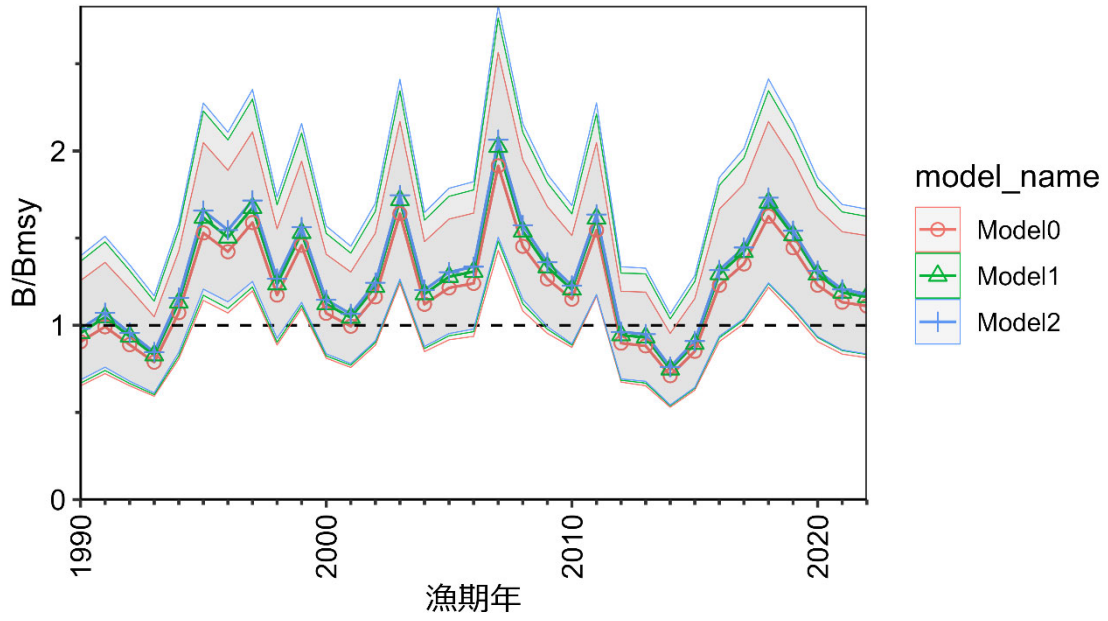
補足図 2-5. 基本モデル別の要因分解プロット



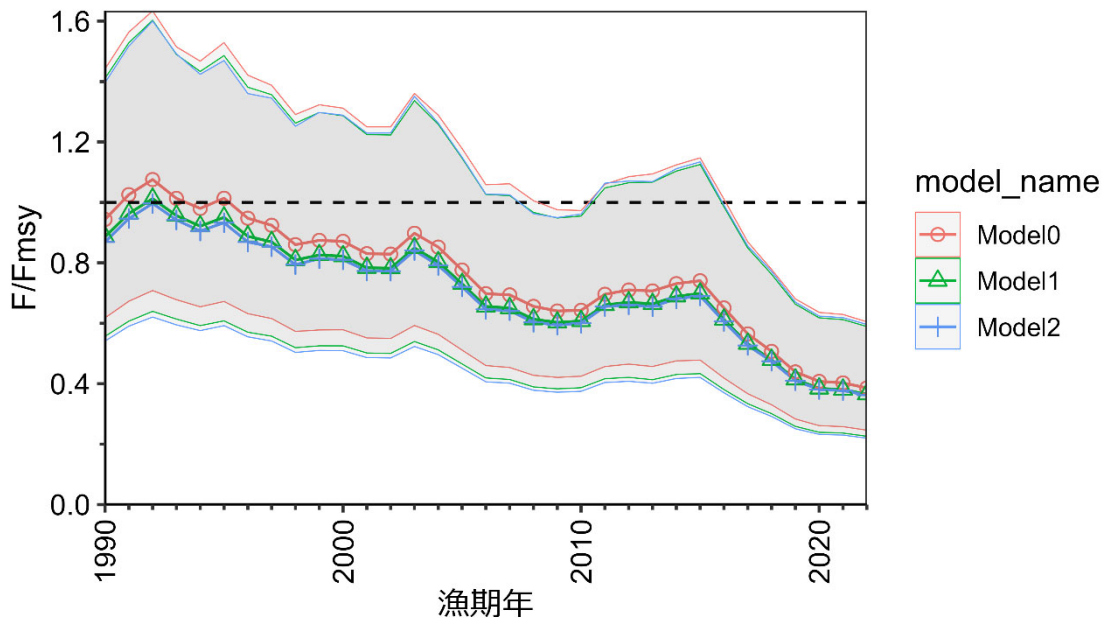
補足図 2-6. 基本モデル別の神戸プロット

大きな丸は 2022 年漁期の資源量と漁獲圧の関係。網掛けの楕円は 90%信頼区間。

A) B/Bmsy



B) F/Fmsy



補足図 2-7. 基本モデル別の B/Bmsy、F/Fmsy の推移

補足表 2-1. 基本モデルで推定されたパラメータ

事前分布の設定	Model 0			Model 1			Model 2		
	下限 5%	推定値	上限 5%	下限 5%	推定値	上限 5%	下限 5%	推定値	上限 5%
r	0.48	1.38	3.96	0.38	1.07	2.95	0.44	0.87	1.71
K	7,400	10,700	15,500	7,800	11,300	16,300	8,500	12,100	17,100
$\ln(q_1)$	-1.15	-0.70	-0.26	-1.15	-0.71	-0.27	-1.17	-0.73	-0.29
$\ln(q_2)$	-9.32	-8.87	-8.43	-9.33	-8.88	-8.43	-9.35	-8.90	-8.45
n	0.97	2.77	7.88	0.73	2.06	5.78	0.90	1.71	3.25
σ_B	0.17	0.22	0.29	0.18	0.22	0.29	0.18	0.22	0.29
σ_F	0.07	0.11	0.16	0.07	0.11	0.16	0.07	0.11	0.16
$\sigma_{I,1}$	0.17	0.23	0.30	0.17	0.23	0.31	0.17	0.23	0.30
$\sigma_{I,2}$	0.11	0.16	0.22	0.11	0.16	0.22	0.11	0.16	0.22
MSY	2,200	2,700	3,400	2,200	2,700	3,400	2,200	2,700	3,400
B_{msy}	3,700	5,700	8,800	3,500	5,400	8,500	3,600	5,400	8,100
B_{2022}	3,900	6,300	10,200	3,900	6,300	10,200	4,000	6,400	10,300
B_{2022}/B_{msy}	0.81	1.11	1.51	0.83	1.16	1.62	0.84	1.18	1.67
F_{msy}	0.30	0.48	0.76	0.32	0.51	0.80	0.33	0.50	0.77
F_{2022}	0.11	0.18	0.30	0.11	0.18	0.30	0.11	0.18	0.29
F_{2022}/F_{msy}	0.25	0.39	0.61	0.23	0.37	0.59	0.22	0.36	0.60

全てのモデルで q_1 に平均値 1.00、標準偏差 0.39 事前分布を設定した。
 本資源では、基本モデルとした 3 つで n が 1 を上回ったため、 B_{msy} 、 F_{msy} および MSY について確率論的な計算によって算出した。
 各数値は百の位または小数点以下第 2 位まで有効として四捨五入した。

補足表 2-2. 基本モデルごとの資源量および漁獲圧の推定値と 90%信頼区間

A) Model 0

漁期年	資源量(千トン)			漁獲圧		
	下限	推定値	上限	下限	推定値	上限
1990	3.2	5.2	8.3	0.28	0.45	0.73
1991	3.5	5.6	9.0	0.31	0.49	0.79
1992	3.1	5.1	8.1	0.32	0.51	0.83
1993	2.8	4.5	7.2	0.30	0.48	0.77
1994	3.9	6.1	9.6	0.30	0.47	0.74
1995	5.5	8.7	13.7	0.31	0.49	0.76
1996	5.1	8.1	12.8	0.29	0.45	0.72
1997	5.7	9.0	14.4	0.28	0.44	0.71
1998	4.2	6.7	10.7	0.26	0.41	0.66
1999	5.2	8.3	13.3	0.26	0.42	0.67
2000	3.8	6.1	9.7	0.26	0.42	0.67
2001	3.6	5.7	9.0	0.25	0.40	0.63
2002	4.2	6.6	10.5	0.25	0.40	0.63
2003	5.9	9.3	14.8	0.27	0.43	0.68
2004	4.0	6.4	10.2	0.26	0.41	0.65
2005	4.4	6.9	11.0	0.23	0.37	0.59
2006	4.5	7.1	11.2	0.21	0.33	0.53
2007	6.9	10.9	17.1	0.21	0.33	0.52
2008	5.2	8.3	13.0	0.20	0.31	0.49
2009	4.5	7.2	11.4	0.19	0.31	0.49
2010	4.1	6.5	10.4	0.19	0.31	0.49
2011	5.5	8.8	14.1	0.21	0.33	0.53
2012	3.2	5.1	8.2	0.21	0.34	0.55
2013	3.1	5.0	8.0	0.21	0.34	0.54
2014	2.5	4.0	6.5	0.22	0.35	0.56
2015	3.0	4.8	7.8	0.22	0.35	0.57
2016	4.4	7.0	11.2	0.20	0.31	0.50
2017	4.9	7.7	12.2	0.17	0.27	0.43
2018	5.8	9.3	14.7	0.15	0.24	0.38
2019	5.2	8.2	13.1	0.13	0.21	0.33
2020	4.4	7.0	11.2	0.12	0.20	0.31
2021	4.0	6.4	10.3	0.12	0.19	0.31
2022	3.9	6.3	10.2	0.11	0.18	0.30

補足表 2-2. 基本モデルごとの資源量および漁獲圧の推定値（つづき）

B) Model 1

漁期年	資源量(千トン)			漁獲圧		
	下限	推定値	上限	下限	推定値	上限
1990	3.2	5.2	8.4	0.28	0.45	0.73
1991	3.5	5.7	9.2	0.30	0.49	0.78
1992	3.2	5.1	8.2	0.32	0.51	0.82
1993	2.8	4.5	7.2	0.30	0.48	0.77
1994	3.9	6.2	9.7	0.29	0.47	0.74
1995	5.6	8.8	13.9	0.30	0.48	0.76
1996	5.2	8.2	12.9	0.28	0.45	0.71
1997	5.7	9.1	14.5	0.28	0.44	0.70
1998	4.2	6.7	10.8	0.26	0.41	0.66
1999	5.2	8.3	13.3	0.26	0.42	0.67
2000	3.8	6.1	9.8	0.26	0.42	0.66
2001	3.6	5.7	9.0	0.25	0.40	0.63
2002	4.2	6.6	10.5	0.25	0.40	0.63
2003	5.9	9.3	14.9	0.27	0.43	0.68
2004	4.0	6.4	10.2	0.25	0.41	0.65
2005	4.4	7.0	11.0	0.23	0.37	0.59
2006	4.5	7.1	11.3	0.21	0.33	0.52
2007	7.0	11.0	17.4	0.21	0.33	0.52
2008	5.3	8.4	13.2	0.20	0.31	0.49
2009	4.6	7.3	11.5	0.19	0.30	0.48
2010	4.1	6.6	10.5	0.19	0.31	0.49
2011	5.5	8.8	14.0	0.21	0.33	0.53
2012	3.2	5.1	8.2	0.21	0.34	0.54
2013	3.2	5.1	8.1	0.21	0.34	0.54
2014	2.5	4.1	6.6	0.22	0.35	0.56
2015	3.0	4.9	7.9	0.22	0.35	0.57
2016	4.4	7.0	11.2	0.19	0.31	0.49
2017	4.9	7.7	12.3	0.17	0.27	0.43
2018	5.8	9.3	14.7	0.15	0.24	0.38
2019	5.2	8.3	13.2	0.13	0.21	0.33
2020	4.4	7.0	11.2	0.12	0.19	0.31
2021	4.0	6.5	10.3	0.12	0.19	0.31
2022	3.9	6.3	10.2	0.11	0.18	0.30

補足表 2-2. 基本モデルごとの資源量および漁獲圧の推定値（つづき）

C) Model 2

漁期年	資源量(千トン)			漁獲圧		
	下限	推定値	上限	下限	推定値	上限
1990	3.3	5.3	8.7	0.27	0.44	0.71
1991	3.6	5.8	9.3	0.30	0.48	0.76
1992	3.2	5.2	8.4	0.31	0.50	0.81
1993	2.9	4.6	7.4	0.30	0.47	0.76
1994	4.0	6.3	9.9	0.29	0.45	0.72
1995	5.7	9.0	14.2	0.30	0.47	0.74
1996	5.3	8.4	13.3	0.28	0.44	0.69
1997	5.9	9.3	14.8	0.27	0.43	0.68
1998	4.3	6.9	11.0	0.25	0.40	0.64
1999	5.3	8.5	13.6	0.26	0.41	0.65
2000	3.9	6.2	9.9	0.26	0.41	0.65
2001	3.6	5.8	9.2	0.24	0.39	0.62
2002	4.3	6.8	10.7	0.25	0.39	0.61
2003	6.0	9.5	15.1	0.27	0.42	0.67
2004	4.1	6.5	10.4	0.25	0.40	0.63
2005	4.5	7.1	11.3	0.23	0.36	0.57
2006	4.6	7.3	11.5	0.20	0.32	0.51
2007	7.1	11.2	17.7	0.20	0.32	0.51
2008	5.4	8.6	13.6	0.19	0.30	0.48
2009	4.7	7.4	11.8	0.19	0.30	0.47
2010	4.2	6.7	10.6	0.19	0.30	0.48
2011	5.6	8.9	14.2	0.21	0.33	0.53
2012	3.3	5.2	8.4	0.21	0.33	0.53
2013	3.2	5.2	8.3	0.21	0.33	0.53
2014	2.6	4.1	6.7	0.21	0.34	0.55
2015	3.1	4.9	8.0	0.22	0.35	0.56
2016	4.5	7.2	11.4	0.19	0.30	0.49
2017	4.9	7.9	12.5	0.17	0.26	0.42
2018	5.9	9.4	15.0	0.15	0.24	0.38
2019	5.2	8.4	13.4	0.13	0.21	0.33
2020	4.5	7.1	11.4	0.12	0.19	0.31
2021	4.1	6.6	10.5	0.12	0.19	0.30
2022	4.0	6.4	10.3	0.11	0.18	0.29

補足資料3 沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）CPUEの標準化

余剰生産モデルに用いる指標値として、北海道北部における沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の月別船別集計の漁獲成績報告書に基づき CPUE（1 網あたりのマガレイ漁獲量 kg/網）の標準化をおこなった。本海域のマガレイ資源の動向に関係すると考えられる操業データとして、2000～2022 年漁期、稚内・枝幸・小樽の根拠地に限定し、さらに有漁操業データにおける水深の分布の下側 10%（水深 274 m 以深に相当）を除去した 202,619 操業にフィルタリングした。狙い操業の効果を考慮するため、フィルタリング後のデータに Direct Principal Component モデル（Winker et al. 2013）を採用し、狙いの効果をモデリングした。DPC モデルでは、漁獲物組成データの主成分分析から得られた連続的な主成分スコアを、一般化加法モデル（GAM）の枠組みの中で非線形予測子として使用する。本資源は一般的に混獲種でありゼロキャッチデータが多いことから、ゼロデータをモデリングに加えることが可能で目的変数に CPUE の連続変数を用いる Tweedie モデルを採用した。Type-III ANOVA と AIC、5-fold cross-validation によって選択された説明変数は、漁期年（1990～2022 年漁期）、四半期（7～9 月、10～12 月、1～3 月、4～6 月）、馬力階級（8～9）、根拠地（稚内、枝幸、小樽）、第 1 主成分スコア、第 2 主成分スコア、緯度経度、水深の主効果および、漁期年と根拠地、四半期と根拠地の交互作用項である。選択されたモデルにより推定された予測値の分布と観測値の分布の間に大きな乖離は認められなかった（補足図 3-1）ため、これを最終モデルとした。最終モデルと組み合わせ計算によって推定された標準化 CPUE の年トレンドを補足図 3-2 に示す。標準化の詳細は「令和 5 (2023) 年度マガレイ北海道北部系群の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の CPUE 標準化について（FRA-SA-2023-SC16-201）」（千葉ほか 2023）に示した。

最終モデル

統計モデル：一般化加法モデル

応答変数：CPUE

説明変数：FY、Quarter、HP_class、Base、PC1*、PC2*、Lat:Lon*、Dep*、Base:FY、Base:Quarter（*平滑化スプライン）

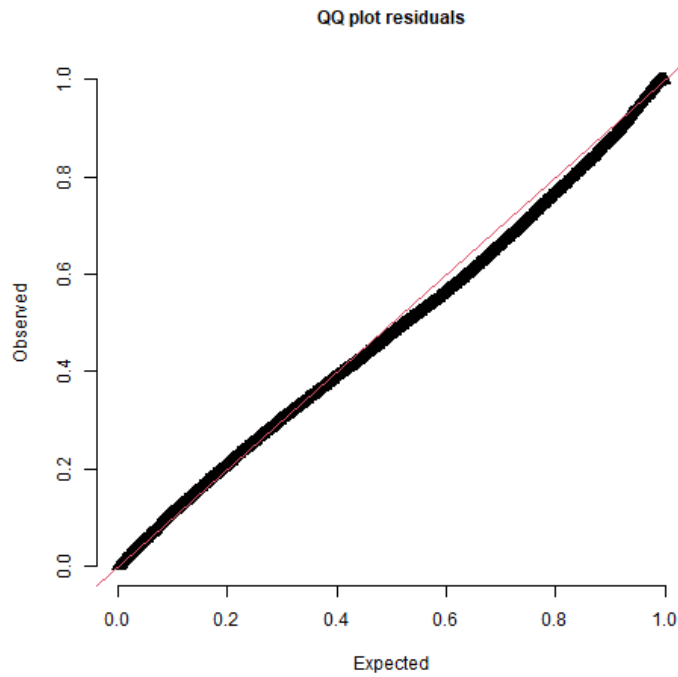
リンク関数：log

Tweedie 分布のパワーパラメータ p：1.515

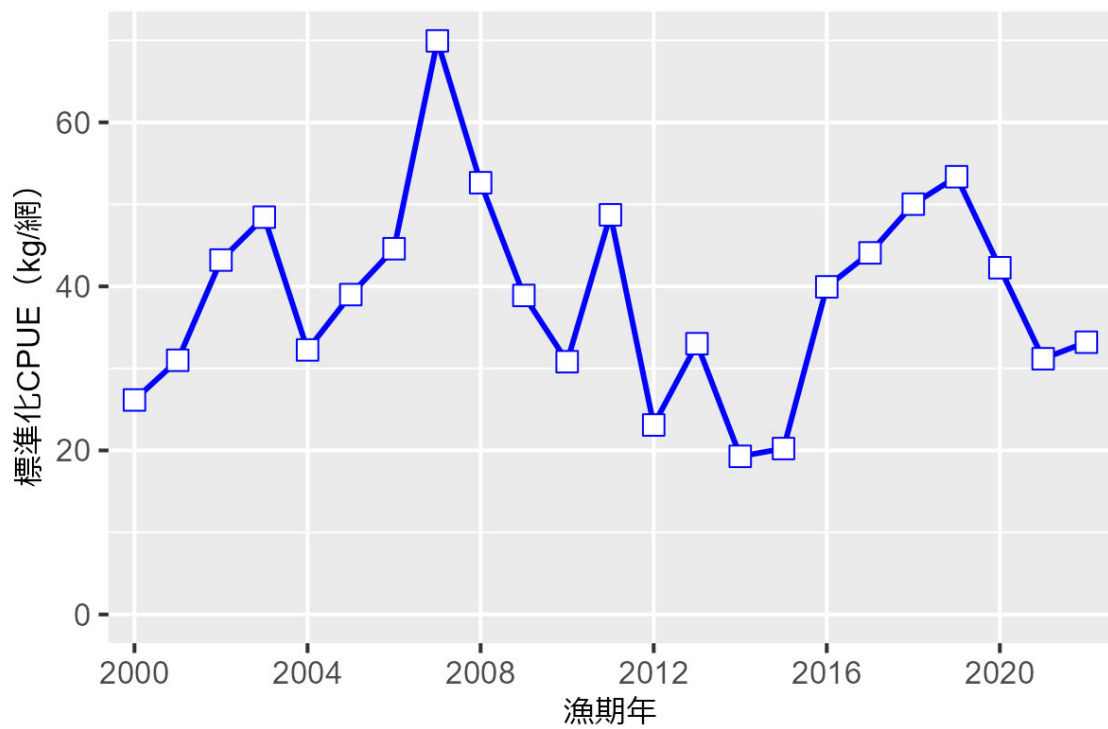
引用文献

千葉 悟・佐藤隆太・森田晶子・境 磨・濱津友紀 (2023) 令和 5 (2023) 年度マガレイ北海道北部系群の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の CPUE 標準化について。(FRA-SA-2023-SC16-201)

Winker, H., SE. Kerwath, and CG. Attwood (2013) Comparison of two approaches to standardize catch-per-unit-effort for targeting behaviour in a multispecies hand-line fishery. *Fish. Res.*, **139**, 118-131.



補足図 3-1. 最終モデルの QQ プロット



補足図 3-2. 沖底かけまわし漁法の標準化 CPUE の年トレンド

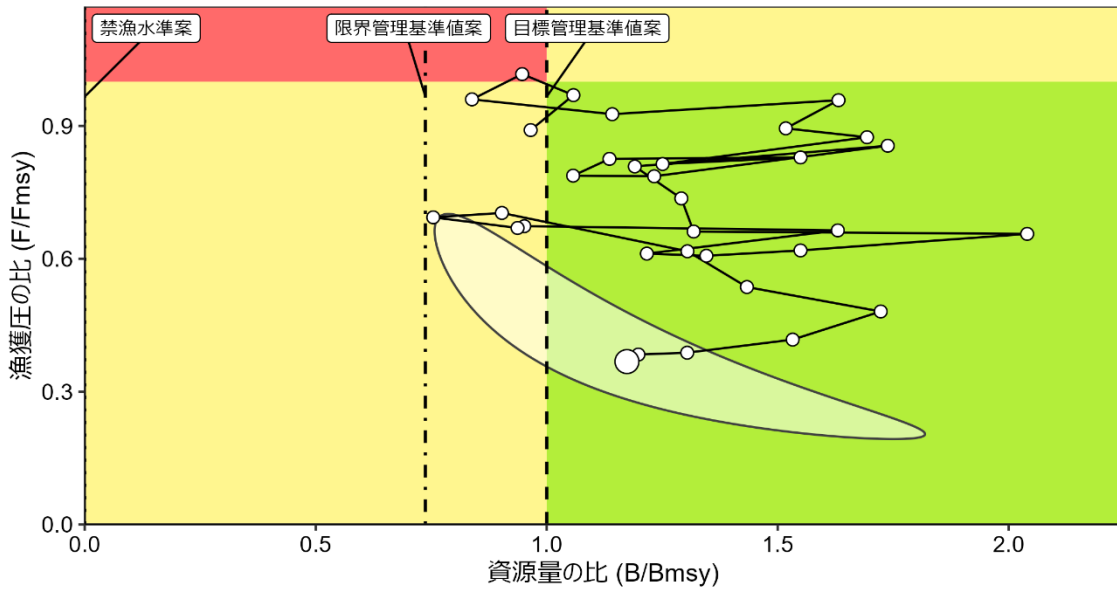
補足資料 4 管理基準値案と禁漁水準案等

令和 5 年 5 月に開催された令和 5 (2023) 年度マガレイ北海道北部系群の管理基準値等に関する研究機関会議 (FRA-SA2023-BRP03-02) (千葉ほか 2023) により、目標管理基準値には MSY を実現する資源量 (Bmsy)、限界管理基準値には資源評価で推定された 2021 年漁期以前の資源量の最低値 (Bmin)、禁漁水準には 0 トンを用いることが提案されている (補足表 4-1)。

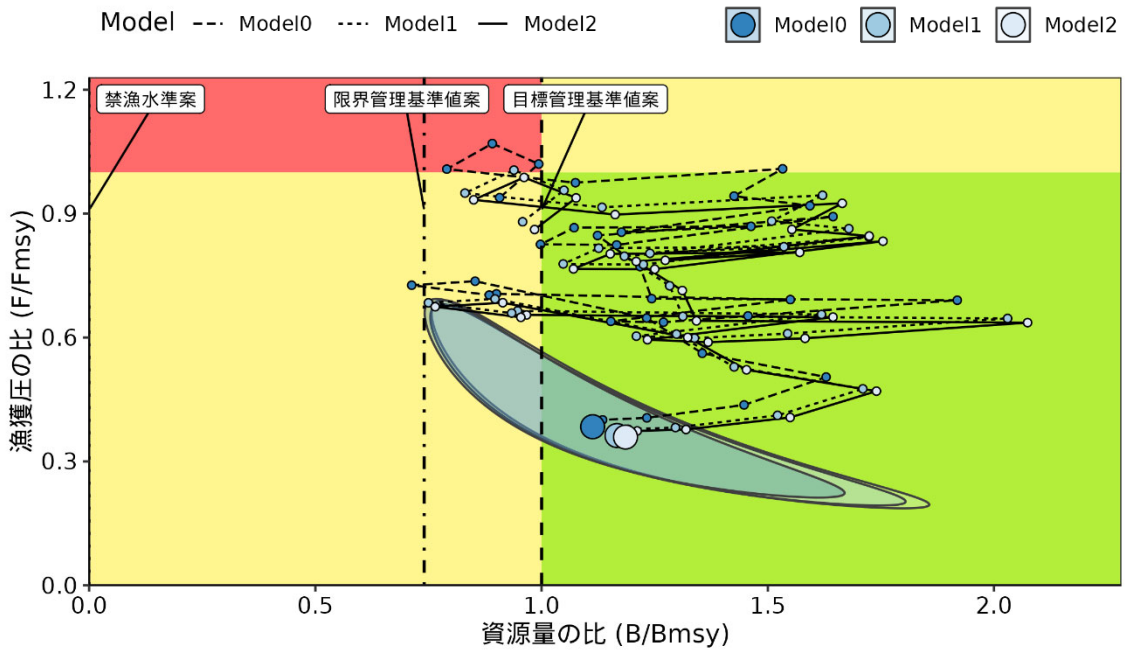
目標管理基準値案 (Bmsy) に対応する資源量は、本年度の資源評価では Model 0 では 5.7 千トン (3.7 千~8.8 千トン)、Model 1 では 5.4 千トン (3.5 千~8.5 千トン)、Model 2 では 5.4 千トン (3.6 千~8.1 千トン) と推定された (補足表 2-1)。これらの基本モデルの推定結果から算出される代表値および 90%信頼区間は、5.4 千トン (3.5 千~8.2 千トン) であった (補足表 4-1)。限界管理基準値案 (Bmin) に対応する資源量は、Model 0 では 4.0 千トン (2.5 千~6.5 千トン)、Model 1 では 4.1 千トン (2.5 千~6.6 千トン)、Model 2 では 4.1 千トン (2.6 千~6.7 千トン) と推定され、代表値は 4.0 千トン (2.5 千~6.4 千トン) と算出された (補足表 4-1)。

神戸プロットに目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案を重ね描きしたものを補足図 4-1 に示す。現状の資源量 (直近年 2022 年漁期の資源量) に対する管理基準値案の比は、目標管理基準値案である Bmsy で 0.85 (0.60~1.17)、限界管理基準値案である Bmin で 0.63 (0.50~0.79) であり、現状の資源量の代表値はいずれの管理基準値案も上回っている。

a) 代表値に基づく神戸プロット



b) 基本モデル別の神戸プロット



補足図 4-1. 管理基準値案と資源量・漁獲圧との関係 (神戸プロット)

補足表 4-1. 目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案

管理基準値案	資源量 (千トン)	環境収容力 に対する比	漁獲圧	期待できる 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧 に対する比
目標管理基準値案 (Bmsy)	5.4 (3.5~8.2)	0.48 (0.34~0.64)	0.50 (0.31~0.80)	2.7 (2.1~3.4)	2.72 (1.66~4.46)
限界管理基準値案 (Bmin)	4.0 (2.5~6.4)	0.35 (0.25~0.48)	0.61 (0.38~0.94)	2.5 (1.6~3.2)	3.33 (2.12~4.82)
禁漁水準案 (0トン)	0	0	-	0	-

余剰生産モデルの結果に基づき、各管理基準値案における、対応する資源量 (Bmsy)、環境収容力 (K) に対する比、対応する漁獲圧 (Fmsy)、対応する漁獲圧の下で期待される漁獲量 (MSY)、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy/F2022) を示す。3つの基本モデルによる推定結果から 30,000 回の繰り返し計算数分だけパラメータセットを再生成して算出した値の中央値を代表値として、5 パーセンタイル値と 95 パーセンタイル値を 90%信頼区間として示した。

補足資料 5 漁獲管理規則案に対応した将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価の各種数値の計算での基本モデルの結果の統合方法と同様に、将来予測でも過去に推定された資源動態やパラメータの不確実性を考慮するため、3,000 回の繰り返し計算ごとに再生成したパラメータセットごとに異なる資源動態をシミュレートした（補足資料 1、2）。また、将来においても余剰生産モデルを毎年データにあてはめて資源評価を更新するプロセスを再現するため、将来予測では年ごと・繰り返し計算ごとに後述する漁獲管理規則案に基づく ABC 計算を模したプロセスを実行して、将来予測における漁獲量を算出している。すなわち将来予測でも資源評価と同様に、前々年までにデータとして得られた漁獲量および資源量指標値を用いて余剰生産モデル（SPiCT）での資源計算と 2 年分の前進計算を行っている。この ABC 計算を模したプロセスでは、漁獲管理規則案で用いられる限界管理基準値案や MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）も資源計算の結果に基づき更新する。2 年分の前進計算では資源量の自然変動に誤差を与えず、漁獲量は ABC 数量に相当する漁獲圧で仮定している。このプロセスで算出された漁獲量を年ごと・繰り返し計算ごとに与えたときの予測結果を、漁獲管理規則案に基づき漁獲した場合の将来予測とした。将来予測は 15 年間実施したが、初年度である 2022 年漁期の漁獲圧は観測された実際の漁獲量に基づく。2023 年漁期の漁獲量は繰り返し計算ごとに推定される 2022 年漁期の漁獲圧で仮定し、漁獲管理規則案による管理は 2024 年漁期から開始するとした。なお、将来予測での資源量には、ABC 計算を模したプロセスでの前進計算と異なり、繰り返し計算ごとに過程誤差に基づく自然変動を与えた。また比較のため、現状の漁獲圧（2022 年漁期）での漁獲が継続した場合の結果も示した。このときの漁獲圧は上記のような SPiCT による繰り返し計算は実施していない。

(2) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則案（補足図 5-1）は、目標管理基準値案以上への資源量の維持・回復を達成する確率を勘案して、資源量に対応した漁獲圧（F）等を定めたものである。資源量が限界管理基準値案以上にある場合には Fmsy に調整係数 β を乗じた漁獲圧とし、資源量が限界管理基準値案を下回った場合には禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を削減する。本資源の「管理基準値等に関する研究機関会議」では調整係数 β には 0.7 が推奨されている。

(3) 2024 年漁期の予測値

2024 年漁期の予測資源量に漁獲管理規則案を適用して求めた 2024 年漁期の算定漁獲量は、 β を 0.7 とした場合には 3.1 千トン、1.0 とした場合には 4.4 千トンであった。2024 年漁期の予測資源量は、3,000 回の繰り返し計算のそれぞれで 3 つのモデルごとに資源量の自然変動の不確実性を考慮しない決定論的前進計算により算出した。その際、予測年の前年の漁獲は現状の漁獲圧（2022 年の F）で仮定した。この現状の漁獲圧には、繰り返し計算ごとに不確実性の範囲内で異なる値を用いた。それぞれの繰り返し計算において、3 つのモデルで算出された 2024 年漁期の予測資源量に対し、モデルごとに限界管理基準値案である Bmin および禁漁水準である資源量 0 トンとの位置関係から ABC 計算に用いる漁獲圧 βF_{msy} を決定し、これを 2024 年漁期の予測資源量と掛け合わせて 2024 年漁期の漁獲量

を算出した。算出した漁獲量について、3つのモデルの平均値を繰り返し計算ごとに求め、その代表値（中央値）を資源管理年の算定漁獲量とした。

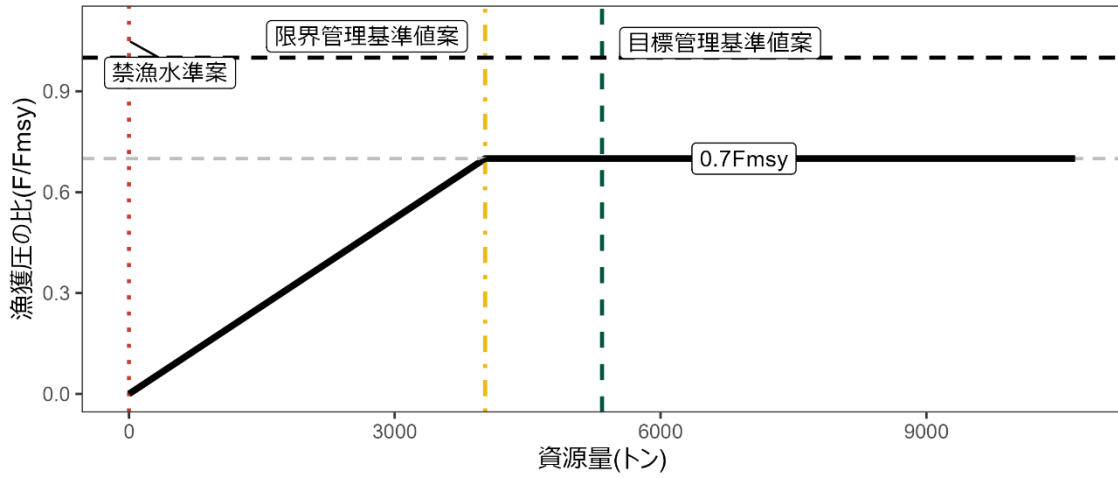
2024年に予測される資源量は、全ての繰り返し計算で限界管理基準値案を上回った（中央値 8.7千トン、90%予測区間 4.8千～15.1千トン）。

(4) 2025年漁期以降の予測

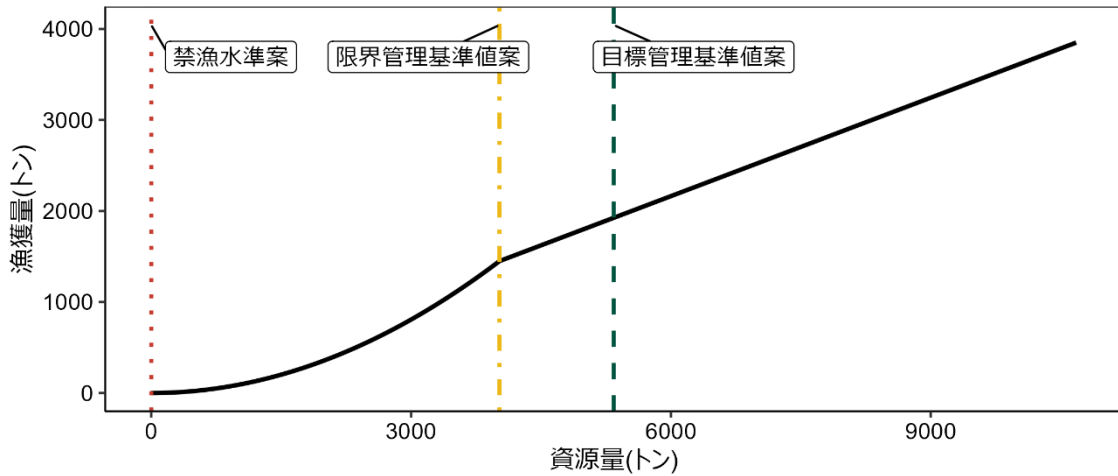
2025年以降も含めた将来予測の結果を補足図 5-2 および補足表 5-1、5-2 に示す。漁獲管理規則に用いる調整係数 β を 0.7 とした場合、2034年漁期の資源量の予測値は 7.2千トン（90%予測区間は 2.5千～14千トン、以下同様）であり、予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 78%、限界管理基準値案を上回る確率は 91%となった。 β を 1.0 にした場合は、2034年漁期の資源量の予測値は 5.5千トン（1.5千～12.3千トン）であり、予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 55%、限界管理基準値案を上回る確率は 73%となった。なお、現状の漁獲圧（F2022）を継続した場合は 2034年漁期の資源量の予測値は 9.0千トン（4.9千～16.0千トン）であり、予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 95%、限界管理基準値案を上回る確率は 99%となった。

本資源の「管理基準値等に関する研究機関会議（FRA-SA2023-BRP03-02）」では、資源量が目標管理基準値案を上回る確率を 50%以上にする基準に加え、限界管理基準値案である B_{min} を下回るリスクを一定以下に抑えるための閾値として、資源量が管理開始 10年後に限界管理基準値案を上回る確率が 90%以上、10年間で一度でも限界管理基準値案を下回る確率が 30%未満とすることが漁獲管理規則として推奨する基準とされた。「管理基準値等に関する研究機関会議（FRA-SA2023-BRP03-02）」ではこの基準によって調整係数 β は 0.7 が提案された。本年度の評価による 2034年漁期の資源量が限界管理基準値案を上回る確率、および 10年に一度でも限界管理基準値案を下回る確率と同じ基準を適用すると β は 0.6 が選択される（補足表 5-3、5-4）。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合

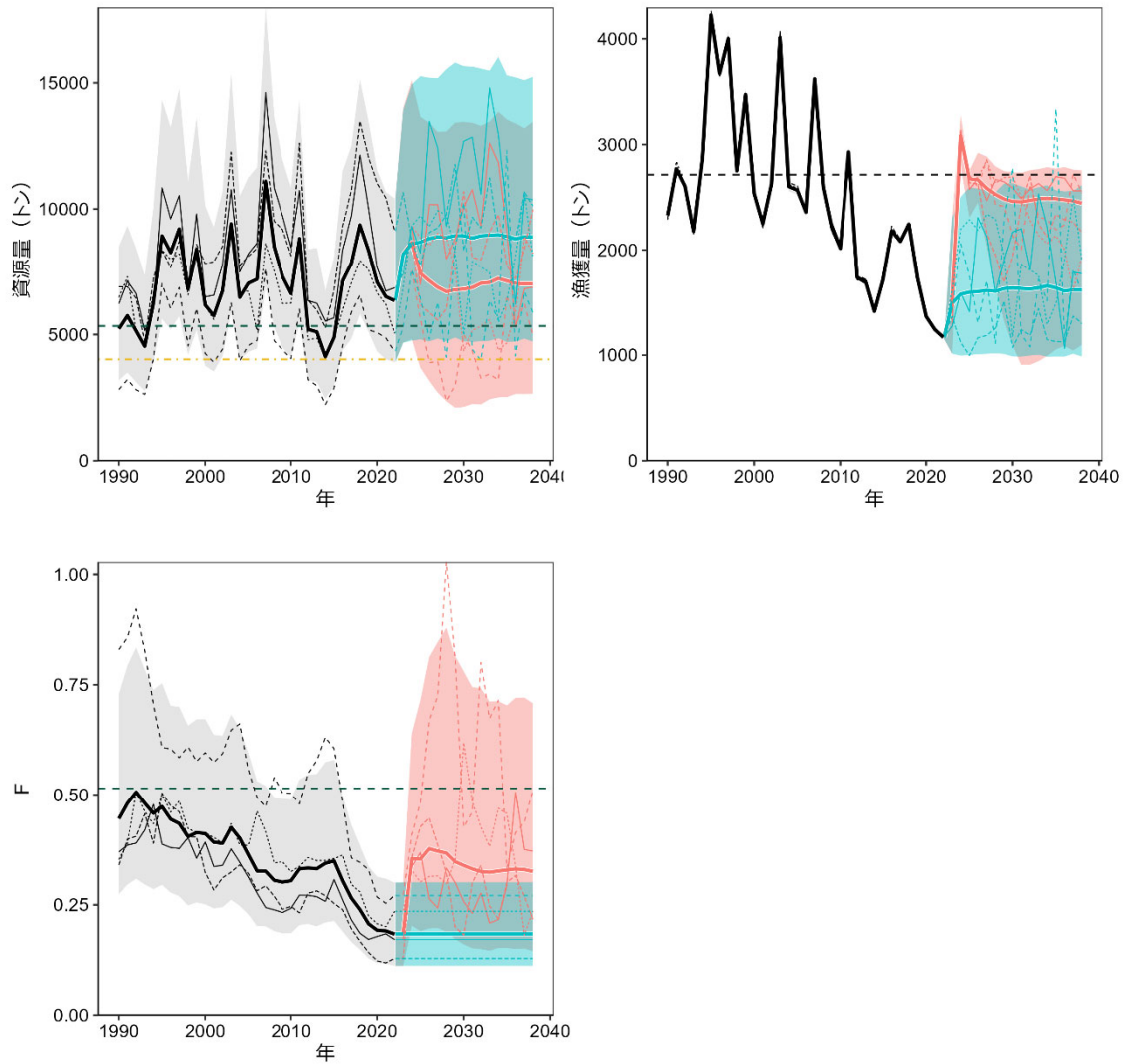


b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 5-1. 漁獲管理規則案

目標管理基準値案は余剰生産モデルに基づき算出した B_{msy} である。限界管理基準値案および禁漁水準案は、それぞれ B_{min} および 0 トンである。この図では調整係数 β には 0.7 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.7F_{msy}$ 、黒太線は漁獲管理規則案、赤破線は禁漁水準案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。



補足図 5-2. 将来の資源量、漁獲圧、および漁獲量

青色の太い実線と網掛けは現状の漁獲圧 (F2022) で、赤色の太い実線と網掛けは調整係数 $\beta=0.7$ の漁獲管理規則案で漁獲した場合の予測された値の中央値と 90%予測区間、黒の太い実線と灰色の網掛けは 1990～2022 年漁期に推定された値の中央値と 90%信頼区間、各色の細い線は反復計算の結果の例示である。資源量の図に示された緑色の破線は目標管理基準値案を達成する水準、黄色の一点鎖線は限界管理基準値案の水準である。漁獲量の図に示された黒色の破線は MSY 水準、漁獲圧 (F) の図に示された緑色の破線は F_{msy} 水準である。

補足表 5-1. 将来の資源量が目標・限界管理基準値案を上回る確率

a) 目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1.0	93	94	68	57	48	43	46	48	51	55	56	55
0.9	93	94	74	65	57	52	53	55	58	60	62	63
0.8	93	94	79	73	66	63	61	63	65	68	69	70
0.7	93	94	84	79	75	73	71	73	74	76	76	78
0.6	93	94	88	85	84	81	81	82	82	83	84	85
0.5	93	94	91	90	90	89	89	89	89	89	90	90
現状の F	93	93	95	95	95	96	96	95	94	95	95	95

b) 限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1.0	100	100	89	79	69	63	61	64	68	71	72	73
0.9	100	100	92	84	76	72	69	71	75	77	79	80
0.8	100	100	94	89	84	80	78	79	81	83	84	86
0.7	100	100	96	93	90	88	86	86	87	88	90	91
0.6	100	100	98	96	94	94	93	92	93	93	94	94
0.5	100	100	98	98	97	97	96	96	96	96	96	96
現状の F	100	99	99	99	99	99	99	98	98	98	99	99

β を 0~0.5 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2022) で仮定し、2024 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2022, $\beta = 0.36$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則案による管理開始から 10 年後を示す。

補足表 5-2. 将来の資源量および漁獲量の代表値の推移

a) 資源量の中央値 (千トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1.0	8.2	8.7	6.4	5.8	5.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.6	5.5	5.5
0.9	8.2	8.7	6.7	6.3	5.7	5.4	5.5	5.6	5.8	6.0	6.0	6.1
0.8	8.2	8.7	7.1	6.7	6.3	6.0	6.1	6.2	6.3	6.5	6.6	6.7
0.7	8.2	8.7	7.4	7.1	6.9	6.7	6.8	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2
0.6	8.2	8.7	7.8	7.6	7.5	7.4	7.4	7.4	7.5	7.6	7.6	7.7
0.5	8.2	8.7	8.2	8.1	8.1	8.0	8.1	8.0	8.0	8.2	8.2	8.2
現状の F	8.2	8.6	8.7	8.8	8.9	8.9	8.9	8.9	8.8	8.9	9.0	9.0

b) 漁獲量の中央値 (千トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1.0	1.5	4.4	3.3	3.3	2.9	2.7	2.6	2.5	2.5	2.7	2.8	2.8
0.9	1.5	4.0	3.1	3.1	2.9	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7
0.8	1.5	3.5	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6
0.7	1.5	3.1	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
0.6	1.5	2.6	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
0.5	1.5	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
現状の F	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7

β を 0~0.5 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2022) で仮定し、2024 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2022, $\beta = 0.36$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則案による管理開始から 10 年後を示す。

補足表 5-3. 資源量が管理基準値案を上回る確率、予測される資源量・漁獲量のまとめ

β	10年後の 目標達成確率		予測資源量の 中央値(千トン)		予測漁獲量の中央値(千トン)		
	資源量が 目標管理 基準値案 を上回る	資源量が 限界管理 基準値案 を上回る	5年後	10年後	1年目	2～5年目 平均	6～10年 目 平均
			2029年 漁期	2034年 漁期	2024年 漁期	2025～ 2028年 漁期	2029～ 2033年 漁期
1.0	55%	73%	4.9	5.5	4.4	3.0	2.5
0.9	63%	80%	5.5	6.1	4.0	2.9	2.6
0.8	70%	86%	6.1	6.7	3.5	2.8	2.5
0.7	78%	91%	6.8	7.2	3.1	2.6	2.5
0.6	85%	94%	7.4	7.7	2.6	2.4	2.3
0.5	90%	96%	8.1	8.2	2.2	2.1	2.1

補足表 5-4. 10年間に一度でも起きる確率のまとめ

β	資源量が水準を下回るリスク (10年間に1度でも起きる確率)						
	B0.1msy	B0.2msy	B0.6msy	B0.7msy	B0.8msy	B0.9msy	Bmin
1.0	0%	3%	25%	34%	43%	54%	67%
0.9	0%	2%	19%	26%	33%	44%	56%
0.8	0%	2%	13%	18%	25%	34%	45%
0.7	0%	1%	8%	11%	15%	24%	32%
0.6	0%	1%	4%	6%	9%	15%	20%
0.5	0%	1%	2%	3%	5%	8%	12%

補足資料 6 管理基準値案および将来予測の計算方法

補足資料 2 で述べたように、MSY に関係する資源量や漁獲圧の数値 (B_{msy} と、 F_{msy}) は 3 つの基本モデルの結果を統合して求めた。すなわち、再生成したパラメータセットのうち n 、 m 、 K と、これらから (17) 式で算出される r 、および σ_B により、繰り返し計算分だけ (5) ~ (10) 式に基づき求め、目標管理基準値案に対応する数値を更新した。また、限界管理基準値案に対応する資源量 (B_{min}) についても繰り返し計算ごとに求め更新した。これらの資源量は、それぞれ一定の F_t および B_t の下では平衡状態の資源量 ($E(B_{\infty}|F_t)$) が以下の (23) 式で近似できること (Pedersen and Berg 2017)、および (24) 式に示される漁獲量と資源量および漁獲圧の一般的な関係に基づき、 C_t が MSY の $x\%$ となる漁獲量の場合の漁獲圧 F_t および平衡状態の資源量 ($E(B_{\infty}|F_t)$) として探索的に求めた。

$$E(B_{\infty}|F_t) = K \left(1 - \frac{(n-1)}{n} \left(\frac{F_t}{F_{msy}^d} \right) \right)^{1/(n-1)} \cdot \left(1 - \frac{n/2}{1 - (1 - n \cdot F_{msy}^d + (n-1)F_t)^2} \sigma_B^2 \right) \quad (23)$$

$$C_t = B_t \cdot F_t \quad (24)$$

ただし、 $n < 1$ の場合には $\sigma_B = 0$ としたときの式を用いた。補足資料 5 では、これらの数値について、繰り返し計算の中央値を代表値として、5 パーセンタイル値、および 95 パーセンタイル値から求めた 90% 信頼区間と合わせて示した。

(2) 将来予測

繰り返し計算ごとに、多変量正規分布から再生成したパラメータセットに基づく資源動態を用いて将来予測を行った。将来予測での前進計算では、余剰生産や漁獲死亡は Pedersen and Berg (2017) に従い Lamperti 変換した (25) 式を用いて考慮した。

$$dZ_t = \left(\gamma \frac{m}{K} - \gamma \frac{m}{K} \left[\frac{\exp(Z_t)}{K} \right]^{n-1} - F_t \right) dt \quad (25)$$

ここで、 Z_t は $\ln(B_t)$ である。また、 F_t は将来予測において漁獲管理規則案等で定められる漁獲量 C_t とその時の資源量 B_t により求められる。前進計算では資源量の自然変動も過程誤差 σ_B により与えられるため、翌年漁期の資源量 B_{t+1} は (26) 式となる。

$$B_{t+1} = \exp(Z_t + dZ_t) \exp(\varepsilon_t) \quad (26)$$

なお、 $\varepsilon_t \sim N(-0.5\sigma_B^2, \sigma_B^2)$ である。繰り返し計算ごとに再生成した r 、 K 、 n 、 σ_B と、これらにより (3) (4) 式で算出した γ と m により、上記の資源動態が定まる。

将来予測に資源評価の不確実性を考慮するため、将来予測の開始時点の資源状態 (資源量や漁獲圧) についても、繰り返し計算ごとに再生成した値を用いた。多変量正規分布から生成されるパラメータセットには極端な資源動態を示すものもある。そのため、まず繰り返し計算ごとに漁獲が無い場合 ($F=0$) の将来予測を 2,000 年間行い、漁獲が無いにもかかわらず資源が崩壊する ($B < 1$) 資源動態を示したパラメータの組み合わせを、将来予測で

の繰り返し計算で使用するパラメータセットから除外した。将来予測用に再生成したパラメータセットの分布を補足図 6-1 に、除外したパラメータセットを補足図 6-2 に示す。

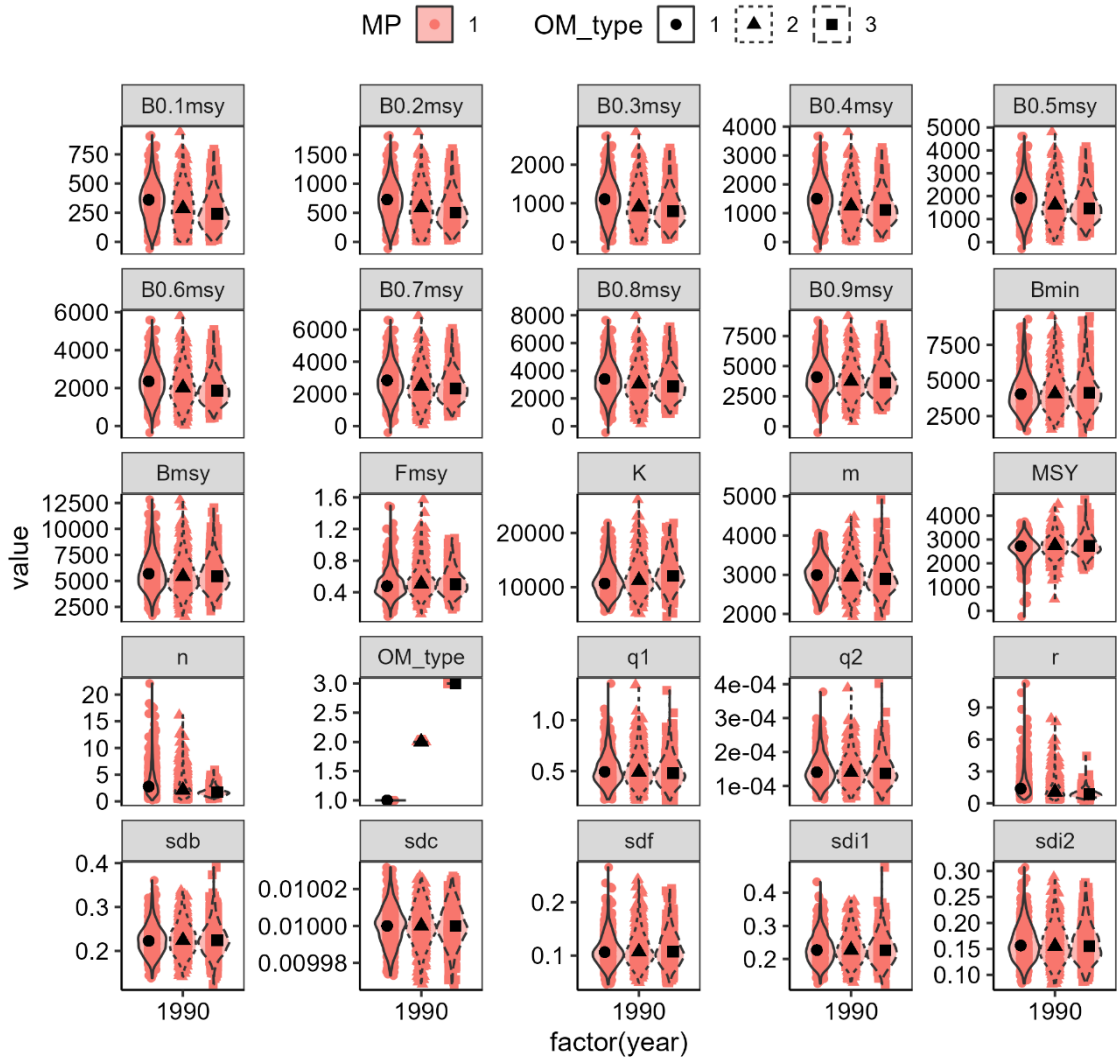
漁獲管理規則に基づく ABC 計算では、ABC を定める年 (ABC 年) の前々年までの漁獲量および資源量指標値を用いて資源評価を行い、さらに 2 年分の前進計算により得た ABC 年の資源量を漁獲管理規則に当てはめることで ABC となる漁獲量を算定する。本資料では、この ABC 計算を模したプロセスも将来予測の中に組み込むことで、将来の資源評価の不確実性も考慮した。すなわち、将来予測の各年において、繰り返し計算ごとに、前々年までの漁獲量と資源量指標値を入力データとした SPiCT での資源量推定 ((1) ~ (14) 式を使用) と、2 年間の前進計算 ((25) (26) 式を使用、ただし過程誤差は仮定しない) を行い、得られた資源量を漁獲管理規則案に当てはめて将来予測における漁獲量を定めた。このとき使用する資源評価期間 (1985~2022 年漁期) の漁獲量は、繰り返し計算毎にそれぞれ微小な観測誤差を加味したものである。資源評価期間の資源量指標値については観測値を用いた。将来予測期間の漁獲量および資源量指標値はともに繰り返し計算ごとに異なる予測値となる。漁獲量は ABC 計算を模したプロセスで算出された値を使用し、資源量指標値は (13) (14) 式に基づき、予測される各年の資源量 (B_i) と漁獲効率 q_i およびランダムな観測誤差 $e_{l,i}$ (標準偏差は $\sigma_{l,i}$) により求めた。将来予測における ABC 計算を模したプロセスでは、前進計算では過程誤差による資源量の自然変動は与えていない ($\sigma_B = 0$)。また、初回の漁獲管理規則案での漁獲量の算定時を除き、前進計算時に与える漁獲死亡はそれぞれの繰り返し計算ごとに漁獲管理規則案で算出された各年の漁獲量とした。初回の漁獲管理規則案での漁獲量の算定時は、2022 年漁期の漁獲死亡は観測誤差を考慮しない観察された漁獲量に基づいた。2023 年漁期の漁獲死亡は 2022 年漁期の漁獲圧 (F2022) で仮定した。なお前述の通り、F2022 は繰り返し計算ごとに再生成した値である。

将来予測における各年の資源量は、上記の ABC 計算を模したプロセスで予測された漁獲量から (25) (26) 式に基づき繰り返し計算ごとに算出した。その際、算出される漁獲圧 F が非現実的に大きくなるように、各年の F の上限を F_{msy} の 2 倍とする制約を与えた。また、将来において状態空間モデルを繰り返しあてはめて推定を行う際、モデルが収束せずに ABC 計算ができない場合には前年に計算された ABC と同じ値をその年の ABC として用いるとした。本資料の将来予測で示した資源量および漁獲量の代表値は、この繰り返し計算で得られた値の中央値である。また、将来予測の各種数値の 90% 予測区間は、繰り返し計算で得られた値の 5 パーセンタイル値および 95 パーセンタイル値から求めた。これらは資源評価の 3 つの基本モデルから推定されたパラメータに基づいて生成された 3 タイプの OM での結果を合わせたものである。OM タイプ毎に色分けした将来予測結果を補足図 6-3 に示す。これによると OM タイプの違いによる資源量や漁獲圧の絶対値および過程誤差に対する差は小さいが、 B/B_{msy} や F/F_{msy} 、漁獲量の信頼区間において OM タイプ 1 や 2 では広くなる傾向にあった。将来予測の計算方法の詳細は「状態空間型プロダクションモデルによる資源量推定結果を用いた管理戦略評価・将来予測手法：ソウハチ・マガレイ北海道北部系群への適用 (FRA-SA2023-BRP03-101)」(市野川ほか 2023) に示した。

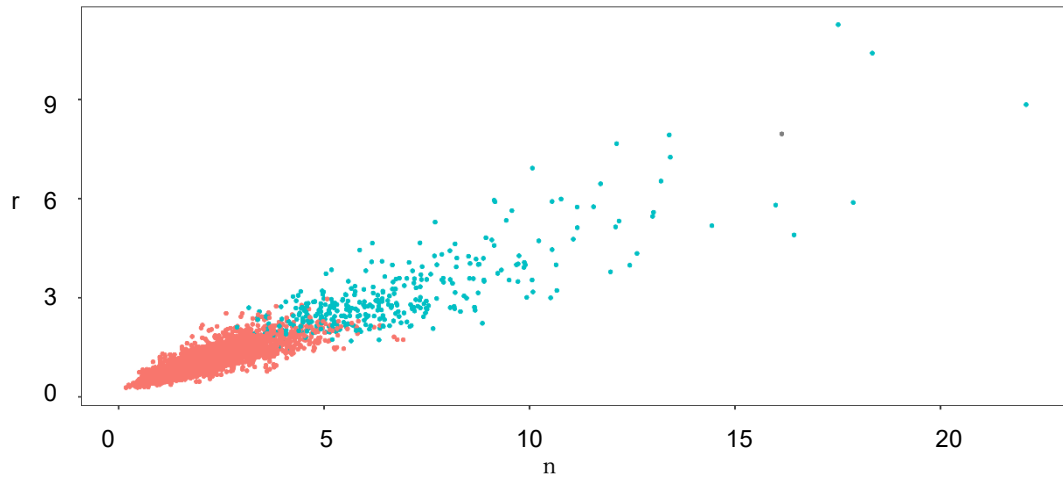
引用文献

市野川桃子・千葉 悟・境 磨 (2023) 状態空間プロダクションモデルによる資源量推定結果を用いた管理戦略評価・将来予測手法：ソウハチ・マガレイ北海道北部系群への適用. FRA-SA2023-BRP03-101.

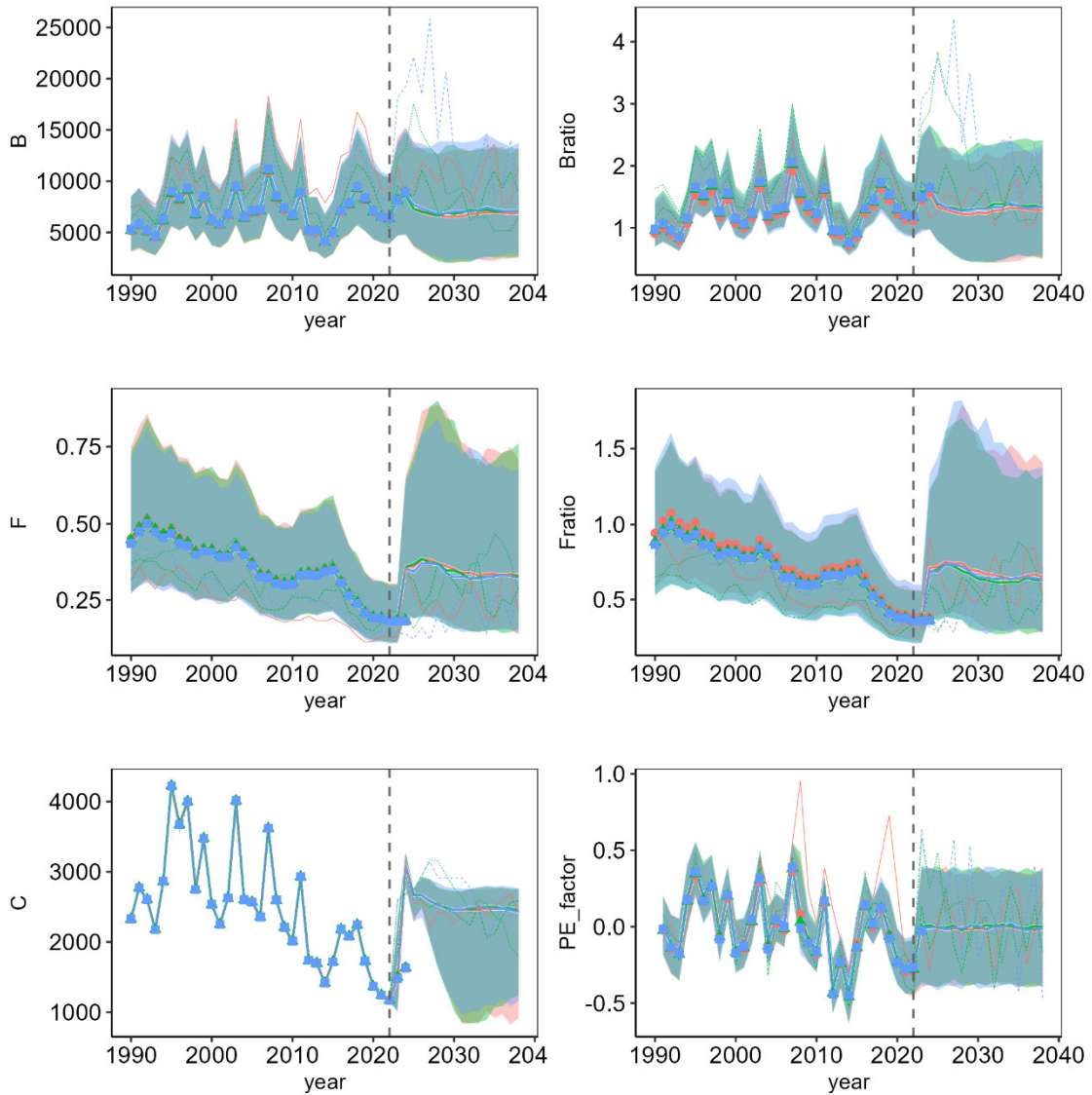
Pedersen, M. W., & Berg, C. W. (2017) A stochastic surplus production model in continuous time. *Fish and Fisheries*, **18**, 226-243.



補足図 6-1. 将来予測用に再生成したパラメータセットの分布
 3つの基本モデルは、それぞれ3つのOMタイプに対応する。



補足図 6-2. 将来予測用に再生成したパラメータセットのフィルタリング結果
将来予測に用いたパラメータセット（赤）とフィルタリングで除外されたパラメータ
セット（青）の形状パラメータ n と内的自然増加率 r の関係を示す



補足図 6-3. 基本モデル別の将来の資源量、資源量と Bmsy の比、漁獲圧、漁獲圧と Fmsy の比、漁獲量および過程誤差

赤色の太い実線と網掛けは資源評価において Model 0 で推定されたパラメータから再生成した OM_type 1、青色の太い実線と網掛けは同様に Model 1 で推定されたパラメータから再生成した OM_type 2、緑色の太い実線と網掛けは同様に Model 2 で推定されたパラメータから生成された OM_type 3 による、推奨する漁獲管理規則案 ($\beta=0.7$) で漁獲した場合の予測された値の中央値と 90% 区間。各色の細い線は反復計算の結果の例示である。

補足資料 7 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 7-1. 管理基準値案と MSY

項目	説明	本年度の資源評価に基づく値 (括弧内は 90%信頼区間)
目標管理基準値案 Btarget 案	最大持続生産量 MSY を 実現する資源量 (Bmsy)	代表値: 5.4 千トン (3.5 千~8.2 千トン) Model 0: 5.7 千トン (3.7 千~8.8 千トン) Model 1: 5.4 千トン (3.5 千~8.5 千トン) Model 2: 5.4 千トン (3.6 千~8.1 千トン)
限界管理基準値案 Blimit 案	資源評価で推定された 2021 年漁期以前の最低 資源量 (Bmin)	代表値: 4.0 千トン (2.5 千~6.4 千トン) Model 0: 4.0 千トン (2.5 千~6.5 千トン) Model 1: 4.1 千トン (2.5 千~6.6 千トン) Model 2: 4.1 千トン (2.6 千~6.7 千トン)
禁漁水準案 Bban 案	資源量 0 トン	-
Fmsy	Fmsy に対応する漁獲圧	代表値: 0.50 (0.31~0.80) Model 0: 0.48 (0.30~0.76) Model 1: 0.50 (0.32~0.80) Model 2: 0.50 (0.33~0.77)
MSY	最大持続生産量 MSY	代表値: 2.7 千トン (2.1 千~3.4 千トン) Model 0: 2.7 千トン (2.2 千~3.4 千トン) Model 1: 2.7 千トン (2.2 千~3.4 千トン) Model 2: 2.7 千トン (2.2 千~3.4 千トン)

補足表 7-2. 最新年の資源量と漁獲圧

項目	値 (括弧内は 90%信頼区間)	説明
B2022	6.4 千トン (3.9 千~10.3 千トン)	2022 年漁期の資源量
F2022	0.18 (0.11~0.30)	2022 年漁期の漁獲圧
管理基準値との比較		
B2022/ Bmsy (Btarget 案)	1.17 (0.86~1.67)	最大持続生産量を実現する資源量(目標管理 基準値案)に対する 2022 年漁期の資源量の比
F2022/ Fmsy	0.37 (0.22~0.60)	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2022 年漁期の漁獲圧の比
資源量の水準	MSY を実現する水準を上回る	
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る	
資源量の動向	減少	

補足表 7-3. 予測される算定漁獲量

2024年漁期の資源量の予測中央値(90%区間):8.7千トン(4.8千~15.1千トン)			
項目	2024年の漁獲量(千トン)	現状の漁獲圧に対する比(F/F2022)	2024年の漁獲圧(F)
研究機関会議で提案された β (最高値)			
$\beta=0.7$	3.1	1.93	0.35
上記と異なる β を使用した場合			
$\beta=1.0$	4.4	2.76	0.51
$\beta=0.9$	4.0	2.48	0.46
$\beta=0.8$	3.5	2.21	0.41
$\beta=0.6$	2.6	1.66	0.30
$\beta=0.5$	2.2	1.38	0.25
F2022	1.6	1.00	0.18

補足表 7-4. 異なる β を用いた将来予測結果

考慮している不確実性: 資源量の自然変動(過程誤差)、資源評価・ABC計算プロセス					
項目	2034年の資源量(千トン)	90%予測区間(千トン)	2034年に資源量が以下の管理基準値案を上回る確率(%)		
			Btarget案	Blimit案	Bban案
研究機関会議で提案された β (最高値)					
$\beta=0.7$	7.2	2.5 - 13.9	78	91	100
上記と異なる β を使用した場合					
$\beta=1.0$	5.5	1.5 - 12.2	55	73	100
$\beta=0.9$	6.1	1.7 - 12.8	63	80	100
$\beta=0.8$	6.7	2.1 - 13.3	70	86	100
$\beta=0.6$	7.7	3.3 - 14.5	85	94	100
$\beta=0.5$	8.2	3.9 - 15.2	90	96	100
F2022	9.0	4.9 - 16.0	95	99	100